Beiträge zur Kenntnis des Spektrum des Berylliums

Von der

Königlichen Technischen Hochschule zu Breslau

genehmigte

Dissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von

Dipl.-Ing. **Ludwig Carl Glaser** aus Berlin

Referent:
Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. O. Lummer

Korreferent:
Prof. Dr. Bornemann

Tag der mündlichen Prüfung: 2. Februar 1916

Mit 6 Tafeln und 1 Abbildung

Berlin SW. 68
Verlag von Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen
1916

Beiträge zur Kenntnis des Spektrum des Berylliums

42684.

Von der

Königlichen Technischen Hochschule zu Breslau

genehmigte

Dissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von

Dipl.-Ing. **Ludwig Carl Glaser** aus Berlin

Referent:
Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. O. Lummer

Korreferent:
Prof. Dr. Bornemann

Tag der mündlichen Prüfung: 2. Februar 1916

ACAD.
LUGD. BAT.
BIBL.

Mit 6 Tafeln und 1 Abbildung

Berlin SW. 68
Verlag von Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen
1916

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549812_0046

Dem Andenken
meines lieben Vaters

Inhalt.

Seite

Einleitung . . . . . 5—6

1. Erzeugung des Spektrums . . . . . 7—11

2. Apparate . . . . . 11—13

3. Messungsmethoden

   a) Ausmessung der Platten und Films . . . . . 13—14

   b) Bezugsspektrum . . . . . 14—16

   c) Besprechung der Messungsgenauigkeiten . . . . . 16—18

4. Ergebnisse

   a) Allgemeine Beschreibung des Spektrums

      1. Das Bandenspektrum . . . . . 19—21

      2. Das Linienspektrum . . . . . 21—22

   b) Zusammenfassende Aufzählung des gefundenen Zahlenmaterials . . . . . 22—23

   c) Gesetzmäßigkeiten des Berylliumbandenspektrums . . 24—37

   d) Gesetzmäßigkeiten des Berylliumbandenspektrums in Beziehung zu denen des Aluminiumbandenspektrums . . 37—38

   e) Nachweis von Beryllium . . . . . 38—39

Zusammenfassung 39

Einleitung.

Die Kenntnis des Spektrum des Berylliums ist sowohl von theoretischem, wie praktischem Gesichtspunkt aus interessant, da dieses Element in der Geschichte der Entwicklung von Physik und Chemie eine hervorragende Rolle einnimmt, und, trotzdem es zu den selteneren Elementen gehört, eine gewisse technische Anwendung gefunden hat.

Das Beryllium hat in vieler Beziehung ein vor anderen Elementen ausgezeichnetes, eigenartiges Verhalten. Dies kommt in vielen seiner chemischen, physikalischen und mineralogischen Eigenschaften zum Ausdruck. Alle diese besonderen Eigenschaften des Elementes sind durch seine Stellung im periodischen System zu erklären; befindet es sich doch unter den Elementen der Horizontalreihe, die ja meist alle als leitende, erste Glieder der Vertikalreihen vor den anderen Elementen eine ausgezeichnete Stellung einnehmen.

So ist jede Untersuchung, die die meist eigenartigen und darum besonders interessanten, physikalischen und chemischen Eigenschaften dieses Elementes sicherstellt, bei einerseits praktischer, vornehmlich aber theoretischer Bedeutung ein Beitrag, der dem Wirkungskreis mehrerer Wissenschaften zufällt.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine eingehende Untersuchung des Spektrums des Berylliums.

Der Zweck spektroskopischer Arbeiten im allgemeinen ist es, durch Messung und Abbildung die Spektren der Elemente und ihrer Verbindungen festzulegen. Diese Aufgabe wird einerseits durch möglichst genaue Wellenlängenmessungen, andererseits durch Besprechung und Behandlung dieser Versuchsergebnisse von theoretischem Gesichtspunkte erreicht und bezieht sich nach Art und Form der Erscheinung auf Linien und Bandenspektren.

Die Wellenlängenmessungen dienen in erster Linie analytischen Zwecken. Durch Kenntnis des Spektrums eines Elementes oder seiner Verbindungen ist der Chemiker in die Lage gesetzt, einen sicheren analytischen Nachweis für das Vorkommen derselben zu haben. Für das Beryllium ist ein einfacher, qualitativer spektroskopischer Nachweis von besonderer Bedeutung, da der qualitative chemische Nachweis auf gewisse Schwierigkeiten stößt, besonders aber dann, wenn das Element mit dem Aluminium, mit dem es in den meisten Mineralien in der Natur zusammen vorkommt, oder mit andern chemisch nicht scharf gekennzeichneten Körpern wie z. B. den seltenen Erden vermengt ist.

Von dem Beryllium war bisher im sichtbaren, dem Auge des Beobachters zugänglichen Teile nur eine Linie im Violett $\lambda\lambda$ 4572 Å.-E. bekannt, die schon von Kirchhoff[1]) beobachtet worden ist. Diese Linie war die einzige, die ohne Heranziehung der Photographie zur analytischen Kennzeichnung des Berylliums dienen konnte. Da es jedoch in den meisten chemischen Laboratorien bislang von gewisser Bedeutung ist, mit alleiniger Beobachtung des Spektrums, ohne Photographie, wenn möglich sogar mit Taschenspektroskop

[1]) G. Kirchhoff, Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spektra der chemischen Elemente. Abh. Berl. Akad. 1861. 63—95. 1863. 227—240.

auszukommen, so ist die Auffindung eines Berylliumspektrums im sichtbaren Teil von besonderem Wert.

Das Spektrum des Berylliums gehörte bislang zu den linienärmsten und zugleich am wenigsten untersuchten Spektren.[2]) Es ist dies wohl in erster Linie auf die Schwierigkeit bei der Erzeuguug des Spektrums zurückzuführen, sowie auf die Kostbarkeit des Metalles[3]) und den Umstand, daß das Metall nur in Pulverform erhältlich ist. Dazu kommt noch, daß wie durch die vorliegende Untersuchung nachgewiesen wird, das Spektrum des Berylliums, dem das Aluminium außerordentlich ähnlich ist, daher bei Anwendung kleiner Apparate sehr leicht zu Verwechslungen führen kann und wohl auch geführt hat.

Im Nachstehenden soll ausführlich das Bandenspektrum des Berylliums behandelt werden. Wie schon erwähnt und wie später ausführlich mitgeteilt wird, handelt es sich um ein das Beryllium scharf kennzeichnendes Bandenspektrum, das durch die Einfachheit und Regelmäßigkeit seines Aufbaues auffällt. Die Untersuchung dieses Spektrums ist mit zeitgemäßen Hilfsmitteln nach den neuesten Vorschriften der Internationalen Vereinigung für Sonnenforschung vorgenommen worden und hat Gesetzmäßigkeiten in solcher Einfachheit zu Tage gefördert, wie sie in dem Falle der Linienspektren wohl nur an dem durch die Entdeckung Balmers[4]) bekannt geworden und später von Fowler[5]) erweiterten Linienserienspektrum des Wasserstoffs beobachtet worden sind.

Warum die Spektralregelmäßigkeiten im Falle des Berylliums gerade von besonderer Einfachheit sind, ist leicht ersichtlich. Je niedriger das Atomgewicht eines Körpers ist, je geringer die Stufe seiner höchsten Wertigkeit, um so einfacher sind die Spektalregelmäßigkeiten. Es ist dies ein Gesetz, das sich bei Betrachtung des gesamten periodischen Systemes immer wieder bestätigt findet. Die in die bisher bekannten Linienseriensysteme am besten passenden Elemente sind bekanntlich Wasserstoff und Helium mit dem Atomgewicht 1 und 4. Es folgt sodann Lithium als erstes Glied der Gruppe der Alkalimetalle Natrium, Kalium, Rubidium, Caesium mit dem Atomgewicht 7. Diese Elemente haben alle sehr einfach gebaute Linienspektren, die den bisher bekannten Serienformeln am besten entsprechen. Alsdann folgt mit dem Atomgewicht 9 das Beryllium. Es ist daher anzunehmen, und diese Annahme wird durch die Versuche bestätigt, daß wir es hier wieder mit einem sehr einfachen Spektrum würden zu tun haben müssen. In der Tat ist daher auch die geringe Anzahl der Berylliumlinien und der einfache gesetzmäßige Bau des Bandenspektrums verständlich. Da bei Wasserstoff mit Sicherheit ein einfaches Bandenspektrum bisher nicht beobachtet ist, so ist Beryllium das nächste Element und zur Zeit das Element mit dem niedrigsten Atomgewicht, von dem uns ein Bandenspektrum bekannt ist. Das Linienserienspektrum des Berylliums liegt im Ultraviolett und ist nur unvollständig bekannt, da seine Grenzen im Schumann Gebiet liegen und sich somit einer einfachen Prüfung entziehen. Beryllium als chemischer Vertreter der Erd-Metallgruppe zeigt in diesem Falle das gleiche Verhalten wie Aluminium. Die Kenntnis der Spektralregelmäßigkeiten an diesen Elementen wird daher eine besonders scharfe Prüfung für die wahre Serienformel sein, da gerade die Linienserien der durch Aluminium gebildeten Gruppe der Erdmetalle besondere Schwierigkeiten bei der Einordnung in die bisher bekannten Formeln bereiten und wird bei theoretischer Behandlung dieser Fragen zu Kenntnis und Aufbau eines den wahren Verhältnissen entsprechenden Atommodells beitragen.

---

[2]) vergl. hierzu Kayser, Handbuch der Spektroskopie Bd. 5, S. 160.

[3]) Bei der Chemischen Fabrik Dr. Schuchardt, Görlitz, kostet 1 g des Metalles 28 M.

[4]) J. J. Balmer Wied. Ann. 25. 80—87. 1885.

[5]) A. Fowler. Beobachtungen der Hauptserien und anderer Serien von Linien im Spektrum des Wasserstoffs, übersetzt von L. C. Glaser, Z. f. wiss. Phot. XII. Heft 10. 1913. 357—371, s. a. Monthly Notices of R. A. S. vol. L. XXIII. No. 2. p. 62—71, Dez. 1912.

Eigene Arbeiten.

Die vorliegende Arbeit wurde Ende 1910 im physikalischen Laboratorium des Imperial-College of Science & Technology, London SW., wo die wesentlichen Ergebnisse gefunden wurden, begonnen.[6]) Sie wurde mit Unterbrechungen im physikalisch-chemischen Laboratorium der Kgl. Technischen Hochschule Breslau fortgesetzt und im Kaiser Wilhelm Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie vollendet. Ein größerer Teil der Messungen wurde im Kgl. Astrophysikalischen Observatorium, Potsdam, ausgeführt.

Für eine Übersicht über die bisher ausgeführten Arbeiten über das Spektrum des Berylliums verweise ich auf das in Kayser's Handbuch der Spektroskopie Bd. V (p. 160—162) Gesagte, sowie auf eine Veröffentlichung vom Verfasser, die demnächst erscheinen wird.

1. Erzeugung des Spektrums.

Das Spektrum des Berylliums wurde im elektrischen Lichtbogen erzeugt. Die Bogenlampe brannte bei 220 Volt und 110 Volt Netzspannung. Die Stromstärke wurde von 6 – 30 Ampère je nach Bedarf verändert. Für die Wahl des Bogenspektrums sprachen verschiedene Gründe. Das Bogenspektrum ist meistens leicht in gleicher Ausbildung zu erhalten, wenn man gewisse Bedingungen innehält, ist somit „characteristisch" und daher in hervorragendem Maße zum spektralanalytischen Nachweis eines Elementes geeignet. Doch auch bei spektroskopischen Sonderuntersuchungen, wie der vorliegenden, ist der elektrische Lichtbogen zur Erzeugung der Emission sehr geeignet, da er bei der sehr großen Lichtstärke außerdem den Vorteil darbietet, daß man darin bei geeigneten Beobachtungsmethoden das Spektrum in seinen verschiedenen Ausbildungsformen zur Darstellung bringen kann, und dabei die Nachteile vermeidet, die auftreten, wenn man beispielsweise das Flammenspektrum selbstständig erzeugt. Das reine Flammenspektrum ist meist schwierig in genügender Lichtstärke zu erzeugen, und das Funkenspektrum an Luft gibt außerdem die störende Emission des Stickstoffs und Sauerstoffs, die nur selten im Bogen zu beobachten sind.

In den einzelnen Zonen des elektrischen Lichtbogens können wir nun die einzelnen Spektren in fast vollständiger Ausbildung nachweisen. Der Kern des Lichtbogens bringt das sogenannte Bogenspektrum zur Emission. Den Kern des Bogens umschließt eine Zone, die einen Übergang zu der äußeren Umhüllung herstellt, die zugleich mit den von den beiden Elektroden ausgehenden Flammen das Flammenspektrum, meist ein Bandenspektrum, zur Strahlung bringt. Schließlich tritt auf der Kuppe der positiven Elektrode, wo sich bei schmelzbarem Material, vornehmlich bei Metallen, meist ein Tropfen bildet, an dem sich ein heller Lichtpunkt zeigt, zufolge der dort herrschenden, sehr hohen Temperatur das Funkenspektrum auf. Die einzelnen Flammbogen-Teile sind meistens deutlich durch die Farbe gekennzeichnet. Am klarsten treten die geschilderten Vorgänge bei Verwendung von Elektroden aus dem zu untersuchenden Stoff auf. Die Vorgänge sind so charakteristisch, wie

[6]) s. a. Calendar Session 1911—12. The Imperial College of Science and Technology, p. 42.

die Färbungen der Bunsenflamme und können daher leicht zur Feststellung eines Elementes benutzt werden. Auf diese Weise wurden die Bandenspektren sehr vieler Elemente beobachtet. Die auf diesem Wege erhaltenen Spektren werden leicht lichtstark genug, um die Bandenspektren mit den Gittern photographieren zu können. Die Methode ist gelegentlich von anderen Beobachtern angewandt worden. Hagenbach hat auf diesen Weg zur Erzeugung von Bandenspektren hingewiesen und bei den Untersuchungen von Fowler wurde das Bogenflammenspektrum stets in dieser Weise untersucht. Bei Beryllium und Aluminium, die beide linienarme, im sichtbaren Gebiet nicht besonders lichtstarke Spektren haben, lassen sich Angaben machen, wie sich das Spektrum im Lichtbogen verteilt. Der farbige Saum der Flamme wird durch die beiden oben beschriebenen Flammen, von denen die eine vom negativen und die andere vom positiven Pol ausgeht, gebildet und umgibt den eine Kugel bildenden Kern des Bogens als Hülle.

Lenard [7]) hat als erster solche hohle Flammen beschrieben und Oldenberg [8]) hatte mit einem auf dem Prinzip des Spektroheliographen eine genaue Untersuchung der Lichtverteilung im elektrischen Lichtbogen vorgenommen. Das Auftreten dieser Banden in diesem äußeren Teil des Lichtbogens läßt darauf schließen, daß sie sich bei Zusammenstoßen des Jonenstromes mit einer umliegenden Atmosphäre bilden. Gleichzeitig entsprechen die Säume des elektrischen Lichtbogens niedriger Temperatur. Die Bandenspektren sind aber meistens bei niedriger Temperatur vollständig entwickelt.

Zur Erzeugung des Bandenspektrums des Berylliums dienten verschiedene Methoden Es wurde teilweise mit Kohlen (Siemens'sche Homogenkohlen, Vollkohlen und sogenannte Siemens'sche Spektralkohlen) gearbeitet. Als Träger für einige Versuche diente Acheson Graphit [9]). Dieser hatte die Eigentümlichkeit, verhältnismäßig unruhig zu brennen. Der Lichtbogen tanzte außerordentlich stark, besonders wenn man niedrige Netzspannungen verwendete. Bei 220 Volt ergiebt der Acheson Graphit einen verhältnismäßig ruhigen Lichtbogen, der sich gegenüber dem zwischen gewöhnlicher Homogenkohlenelektroden auftretenden dadurch unterscheidet, daß sein Kern stark rötlich gefärbt ist, während der des gewöhnlichen Kohlenbogens violett ist. Das Lästige beim Arbeiten mit Kohleelektroden ist das starke Auftreten der dem Cyan, Kohlenstoff und Stickstoffverbindungen zugeschriebenen Bandenspektren, wovon besonders das bisher dem Cyan zugeschriebene Spektrum besonders stark in dem Kern der Flamme erscheint, während in dem Saum der Flamme bei gewöhnlichen Kohleelektroden außer der Emisson der Beschickung das Bandenspektrum der Kohle auftritt, vornehmlich die grüne Bande bei $\lambda\lambda$ 5165 Å.-E.

Beryllium gehört, wie meine Versuche gezeigt haben, zu den am schwersten zur Emission zu bringenden Stoffen.

Sein Verhalten bei der hohen Temperatur des elektrischen Lichtbogens ist das folgende:

Am zweckmäßigsten erhitzt man das in einer Ausbohrung der positiven Elektrode befindliche Material durch Berührung der beiden Elektroden durch Kurzschluß so hoch, bis Glut in den Spitzen der Kohle auftritt. Wenn man dann den Bogen abbricht, sintert das Oxyd zusammen und kann durch anhaltendes Erhitzen zum Schmelzen gebracht werden, wobei zu beachten ist, daß die obere Elektrode gegen die untere immer gut zentriert ist. Das Schmelzprodukt hatte ein emailliertes Aussehen. Die Emission ist am beständigsten, wenn man eine Schmelzkugel bilden kann, und dadurch ein gleichmäßiges Verdampfen herbeiführt. Dies ist auch gewöhnlich von einem eigentümlichen Zischen des Lichtbogens begleitet.

---

[7]) Ann. d. Phys. XI. 636–650 **1903.** XVII. 197—247. **1908.**

[8]) Otto Oldenberg. Spektroheliographische Untersuchungen am Lichtbogen. Diss. Göttingen 1913. Z. f. wiss. Phot XIII. Heft 4. p. 133–172. **1913.**

[9]) Die Proben wurden mir in Stäben von 12 mm Durchmesser von Herrn W. Schumacher, Vertreter der Acheson Graphite Co. freundlichst zur Verfügung gestellt.

Das Berylliumoxyd ist schwieriger schmelzbar [10]) als das Aluminiumoxyd, verdampft dagegen viel schneller als dieses. Auf der Kohle des elektrischen Lichtbogens bildet sich bei hohen Temperaturen wahrscheinlich gewöhnlich ein Carbid, das nach neueren Angaben [11]) einen höheren Schmelzpunkt als das Oxyd hat. Zur Zerstörung dieses Carbids bedarf es meist hoher Stromstärken. Häufig muß man bis 30 Amp. in die Höhe gehen, ehe überhaupt ein Verdampfen der Substanz eintritt. Berylliumoxyd verhält sich in diesem Punkte analog dem Aluminiumoxyd und den Oxyden der seltenen Erden Yttrium, Lanthan, Thor, Cer, Neodym, Praseodym, Scandium usw., die auch meistens dem Verdampfen im elektrischen Lichtbogen große Schwierigkeiten entgegensetzen.

Zur Erzielung einer gleichmäßigen Emission setzt man zweckmäßig dem Berylliumoxyd kleine Mengen von Natriumsalzen zu. Es werden dann die Banden der Kohle fast unterdrükt, und das wahrscheinlich durch die Gegenwart der Kohle sich bildende Natrium wirkt in der Dampfform als starkes Reduktionsmittel, wodurch sich die Brillanz der Spektralerscheinung erklären läßt. Bei der Verwendung von Kupferelektroden als Träger der Substanz ist ähnliche Brillanz zu beobachten, jedoch empfiehlt es sich auch hier, dem Berylliumoxyd kleine Mengen von Natriumsalzen hinzuzufügen. Das gilt jedoch nur für die Erzeugung des Bandenspektrums.

Die zur Erzeugung des Spektrums benutzten Materialien waren:

1. Berylliumoxyd von Hopkins und Williams, London.
2. Berylliumoxyd von Kahlbaum, Berlin,
3. Berylliumnitrat von Kahlbaum, Berlin.
4. Berylliumnitrat und basisches Berylliumacetat, freundlicherweise von Professor Dr. G. F. Morgan mir zur Verfügung gestellt.
5. Berylliumcarbonat und daraus durch Glühen hergestelltes Berylliumoxyd von Kahlbaum, Berlin.
6. Berylliumoxyd von Dr. König, Leipzig.
7. Berylliumoxyd von E. Schering, Berlin.
8. Berylliumnitrat, von der Auer-Gesellschaft, Berlin, freundlichst zur Verfügung gestellt.
9. Berylliummetall (Pulver), von Schuchardt, Görlitz.
10. Berylliummetall (Pulver), von Herrn Dr. Max Mayer, Berlin, freundlichst zur Verfügung gestellt.

No. 1—4 wurden in London spectrographiert, No. 5—10 teilts in Breslau, Potsdam und Berlin.

Zunächst wurden einige Versuche zur Wahl der zweckmäßigsten Berylliumverbindung (Auswahl von 1—4) unternommen und zwar durch Verflüchtigen obiger Bestandteile auf Kohleelektroden, die in der gewöhnlichen Art in eine sehr gut regulierbare Bogenlampe von Sanger-Shepherd eingesetzt wurden. Das Ergebnis dieser Versuche war:

1. Alle Substanzen waren ungefähr von demselben Reinheitsgrade. Man mußte stets, in sogenannten »chemisch reinen« Berylliumverbindungen Spuren von Aluminium vermuten, das in der Natur stets mit Beryllium zusammen vorkommt, z. B. im Beryll, aus dem nahezu alle Berylliumverbindungen hergestellt werden, und das ein Mineral von der chemischen

---

[10]) Nach E. Tiede & Birnbräuer schmilzt das Berylliumoxyd bei 2400° ± 100 (schwarze Temperatur). Es verdampfte hauptsächlich erst beim Schmelzen, vgl. auch Mitteilungen über Forschungsarbeiten Heft 147, herausgegeben vom Verein Deutscher Ingenieure. Über die Herstellung feuerfester Gegenstände für Temperaturen über 2000° in Öfen mit reduzierender Atmosphäre von Professor Dr. Otto Ruff. s. a. Monatsblätter des Berliner Bezirksvereins Deutscher Ingenieure No. 4, April 1914. p. 77—78.

[11]) E. Tiede & E. Birnbräuer, Zeitschrift für anorganische Chemie. Bd. 87. Heft 2. 1914. 129—168 p. 162. 166. 167.

Zusammensetzung $Be_3 \cdot Al_2 (Si\,0_3)_6$ ist. Um leicht die Aluminiumlinien herauszufinden wurde das Spektrum des Aluminiumbogens, wie es mit Metallstäben von reinem Handelsaluminium erhalten wurde, Seite an Seite mit dem Berylliumspektrum photographiert und es stellte sich heraus, daß beim Vergleich beider Spektra nur das sehr scharfe Aluminiumdoublett bei λλ 3961 und 3944 sichtbar war und zwar nur sehr schwach und auch nur, wenn die Aufnahme sehr lange gelichtet war. Indessen muß berücksichtigt werden, daß die Spektralreaktion für Aluminium sehr empfindlich ist, da sie Restlinien im Sinne A. de Gramont's, Hartley's und Pollock's darstellen — man findet beide Linien stets in dem gewöhnlichen Kohlebogen — so daß man schließen darf, daß die untersuchten Substanzen (1—4) frei von Aluminium waren. Das sehr charakteristische Bandenspektrum vom Aluminium erschien mit deren Präparaten nie oder nur sehr schwach auf den Aufnahmen; aber da sich herausstellte, daß die angewandten Kohleelektroden wahrscheinlich mehr Aluminium als die untersuchten Substanzen enthielten, und das Aussehen des zu messenden Bandenspektrums durch die Kohlebanden bezw. Cyan- bezw. Stickstoffbanden bei λλ 5165, 5130, 4737.3, 4715.4, 4697.7, 4684.6, 4680.3 etc., 4381 etc. [12]) verdeckt werden, so entschied ich mich dafür, Kupferelektroden von 18 mm ⌀ zu benutzen, wovon die eine zweckmäßig zur Aufnahme des Berylliumoxydes ausgebohrt war. Das hellste Spektrum wurde durch das basische Acetat, das sich auch am reinsten erwies, erhalten dank seiner Flüchtigkeit bei verhältnismäßig niedriger Temperatur. Aber es wurde für die späteren Versuche nicht benutzt, da es in dem elektrischen Bogen sich zersetzte, und abgeschiedene Kohle zeigte wieder die komplizierten Kohle- bezw. Cyan- oder Stickstoffbanden, abgesehen davon, daß sein Gebrauch wegen der großen Flüchtigkeit nicht sehr sparsam war. Das Berylliumnitrat ist in Verbindung mit Kupferelektroden eine sehr unzweckmäßige Substanz, da es sehr leicht beim Überspringen des Bogens von braunen Stickstoffoxyddämpfen den Kupferpol angreift und überdies auch sehr hygroskopisch ist. Die beste Verbindung zur Erzeugung des Spektrums auf Kupferelektroden ist Berylliumoxyd, da sich u. a. auch vermuten läßt, daß sich im elektrischen Lichtbogen eine Berylliumkupferlegierung[13]) bildet.

Die Ausbohrung des positiven Poles wurde vollständig mit dem Oxyde gefüllt, dann wurden die Pole für kurze Zeit in Verbindung gebracht, bis das Oxyd leitend wurde und dann der Bogen abgerissen. Die Farbe der Kupferbogen ist grün, aber wenn der Bogen von dem Berylliumoxyde ausging, und Berylliumoxyd sich im Flammbogen verflüchtigte, nahm er eine bleich-graublaue Farbe im Kern an mit fahlgrünen Säumen an den Rändern der Flamme. Während der Exposition am Gitterspektrographen wurde gleichzeitig mit einem Wellenlängenspektroskop von Hilger, einem gradsichtigen Spektroskop von Heele oder einem Taschenspektroskop beobachtet. Wenn die graublaue Färbung des Bogens auftrat, wurde der Spalt des Spektroskops belichtet, denn nur dann erschien das Bandenspektrum des Berylliums in guter Ausbildung, wie aus der Beobachtung mit dem Wellenlängenspektroskop hervorging. Der Bogen wurde alle halben Minuten mit frischer Substanz beschickt. Glücklicherweise sind nur wenige Kupferlinien in der Region von λλ 4700 bis 4800 Å.-E. vorhanden, eine Tatsache, welche den Gebrauch von Kupferelektroden für diese Untersuchung besonders aber die Aufklärung über die Struktur des blauen Bandenspektrums sehr empfehlenswert (s. Tafel 4 u. 6) machte. Die Kupferlinien, die in das Gebiet des Bandenspektrums des Berylliums fielen, konnten leicht nach den Photographien herausgesucht werden, die auf derselben Platte von dem Kupferbogen in diesem Wellenlängengebiet aufgenommen waren. Kupferelektroden wurden in ähnlichen Fällen schon manchmal von anderen Spektroskopikern

---

[12]) Nach einer neuen Arbeit von Runge und Grotrian sind die Banden teilweise dem N_2 zuzuschreiben.

[13]) s. a. an anderen Orten Parsons. The Chemistry & Litterature of Beryllium Easton P. A. The Chem. Publishing Co. London, England Williams & Hurgate.

angewendet; noch geeigneter mußte für die vorliegende Untersuchung Silber sein, das sich wegen seiner geringen Linienzahl im sichtbaren Spektrum besonders für eine weitere Untersuchung der Struktur der blauen Banden des Berylliums geeignet hätte. Es stellte sich jedoch heraus, daß bei dem niedrigen Schmelzpunkt des Silbers (955° in Luft) eine brauchbare Emission des Beryllium-Metalles nicht zu erhalten war. Die Silberstäbe (5 mm ⌀) bestanden aus Feinsilber und wurden von der Firma Meyen in Berlin geliefert.

Als sehr reines Präparat erwies sich das Berylliumoxyd von Dr. König in Leipzig, während das Berylliumoxyd von E. Schering, Berlin, größere Mengen von Aluminium enthielt. Präparat 8 Beryll-Nitrat erwies sich als stark hygroskopisch. Wenn es Feuchtigkeit angezogen hatte, bildete es eine dickflüssige Masse, die leicht auf Kohle gegossen werden konnte, stark in die Kohle einsog und infolgedessen eine sehr schöne, dauernde Emission gab. Vom Präparat 9 konnte wegen des hohen Preises nur eine kleine Menge verwandt werden. Von Präparat 10 stand eine große Menge zur Verfügung und dieses erwies sich als sehr geeignet zur Feststellung des sichtbaren Teiles des Berylliumspektrums.

Wenn auf der Kohle etwa eine Messerspitze des Metallpulvers zerstreut wurde, zeigte sich bei dem Taschenspektroskop deutlich das Bandenspektrum des Berylliums. Vor allen Dingen war zu beobachten, daß die Banden viel heller waren als bei Berylliumoxyd. Sodann war auch die violette Gruppe sehr leicht zu beobachten, die gewöhnlich bei Anwendung von Berylliumoxyd nur schwach vertreten ist. Das Metall enthielt nur kleine Mengen Aluminium, die jedoch nicht störten. Es gab eine sehr gleichmäßige Emission und zeigte nur eine Andeutung der Aluminiumbande bei $\lambda\lambda$ 4842.

2. Apparate.

Zur direkten Beobachtung des Spektrums gelangten verschiedene Taschenspektroskope, ein Wellenlängenspektroskop[14]) und ein Spektroskop[15]) [16]) zur direkten Beobachtung mit gradsichtigem Prisma zur Anwendung.

Zur Photographie des Spektrums standen zur Verfügung:

1. ein Spektograph[16]) von Hans Heele, Berlin mit Schwerflint-Prisma von 64° brechendem Winkel, 24 mm Höhe und 35 mm Seitenlänge und dazugehöriger Quarzlinsenoptik. Der Kollimator hat eine Brennweite von 200 mm bei einer Öffnung von 22 mm. Das Kameraobjektiv hat einen Durchmesser von 20 mm und eine Brennweite von 320 mm, ist also wesentlich länger brennweitig als das Kollimatorobjektiv. Bei dieser Anordnung wird das Spaltbild vergrößert im Verhältnis der Brennweiten wiedergegeben. Man erhält dadurch größere lineare Dispersion bei gleicher Auflösung und besserer Ausnutzung der Korrektion des aplanatischen Kamera-Objektivs. Der Spalt ist ein gewöhnlicher unsymmetrischer, dessen Breite sich nicht ablesen läßt.

Das Spektrum wird auf 6 × 9 cm Platten photographiert und ist für die Wellenlängen $\lambda\lambda$ 6200—3700 etwa 75 mm lang. Die Platte steht unter starker Neigung, da das Kameraobjektiv nicht achromatisiert ist.

Der Spektrograph erwies sich für orientierende Aufnahmen, bei denen eine kleinere Dispersion angestrebt ist, als zweckmäßig und zeigte gute ausreichende Definition. Das Auflösungsvermögen beträgt etwa 3500 für D.

2. ein großer Quarzspektrograph von Ad. Hilger[17]) London, für Aufnahmen von $\lambda\lambda$ 5100—1900 mit symmetrischem Spalt, einem Cornu-Prisma von 45 mm Höhe und 65 mm

[14]) von Ad. Hilger Ltd. London gebaut.
[15]) von Hans Heele, Berlin.
[16]) dem phys.-chem. Institut der K. T. H. Breslau gehörig.
[17]) dem Imperial College of Science & Technology, London gehörig.

Seitenlänge und einfachen Quarzlinsen. Das Kameraobjektiv ist zweiteilig, hat eine Brennweite von 610 mm. Die Bildfeldwölbung ist noch nicht vollständig behoben und wird durch eine schwach gekrümmte Platteneinlage aus Holz gänzlich kompensiert. Die Plattengröße beträgt 60 × 160 mm. Sein Auflösungsvermögen beträgt etwa 6000 für D.

3. ein Spektrograph mit Glasoptik[18]), Leichtflintprisma von 60° und dreifachem Autokollimations-Kameraobjektiv. Das Auflösungsvermögen beträgt etwa 18000 für D.

4. Ein Konkavgitterspektograph mit Gitter von 3050 mm Krümmungsradius und 590 Linien pro mm (15 020 Linien auf 1 Zoll engl.), 82 × 41 mm geteilter Fläche in Autokollimationsanordnung.

Näheres über Auflösung und Einstellung ist in der unten angegebenen Beschreibung [19]) zu finden.

Das Gitter hat in erster Ordnung eine Auflösung von 48 700. Die lineare Dispersion beträgt 5.6 Å.-E. auf 1 mm. Die Auflösung in der zweiten Ordnung beträgt 97 400 bei einer linearen Dispersion von 2.56 Å.-E auf 1 mm.

Das Eisenspektrum, wie es in erster und zweiter Ordnung mit diesem Gitter erhalten worden ist, ist von mir bereits anderweitig [20]) veröffentlicht worden. Aus dieser Tafel, wie aus der der Beschreibung [21]) beigegebenen kann man die Leistungsfähigkeit des Gitters ersehen.

5. Der Konkavgitterspektrograph [22]) des Kaiser Wilhelm-Instituts für physikalische Chemie und Elektrochemie, dessen Benutzung ich dem Entgegenkommen von Herrn Geh. Reg.-Rat Professor Dr. F. Haber verdanke. Das Gitter hat 1780 mm (5 Fuß 10″) Krümmungsradius, 42 × 50 mm geteilte Fläche und 568 Linien auf den Millimeter. Die Anordnung ist von O. Toepfer & Sohn, Potsdam, gebaut.

Der Spektrograph ist von mir eingestellt und erstmalig benutzt worden. Das Spektrum wird auf Films von 6 × 85 cm Länge photographiert. Das gesamte Spektrum erster Ordnung von der Wellenlänge $\lambda\lambda$ 2000 Å.-E. sowie das Spektrum zweiter Ordnung bis etwa $\lambda\lambda$ 5100 Å.-E. und der entsprechende übergelagerte Teil des Spektrums dritter Ordnung werden gleichzeitig aufgenommen. Es bedurfte einer großen Anzahl Aufnahmen zur Ermittlung des richtigen Brennpunktes bei den verschiedenen Wellenlängen, um nach diesen Ergebnissen die Krümmung, die die Films haben mußten, festzulegen. Nach diesen Angaben wurde die Krümmung der Metalleinlage und des Holzeinsatzes in der Kassette geändert.

Zur Justierung wurde vornehmlich das Eisenbogenspektrum benutzt, und zur Feineinstellung die ermittelte Justierung mit Hilfe des Flammbogenspektrums der Kohle an dem verwickelt aufgebauten Bandenspektrum nachgeprüft. Der Gang des Brennpunktes mit der Einstellung wurde schließlich genau durch Prüfung des Films verschiedener Einstellung unter dem Mikroskop festgelegt.

6. Ein großer Littrowspektograph mit Glasoptik, Eigentum des Verfassers.

Mit einem Fernrohrobjektiv von C. A. Steinheil Söhne, München von 68 mm freier Öffnung und 81 mm Brennweite und einem 60° Flintprisma von 64 mm Höhe und 91 mm

---

[18]) dem Imperial College of Science & Technology, London gehörig. s. a. A. Fowler. The Equipment of the spectroscopic Laboratory of the Imperial College of Science & Technology.

Proc. Phys. Soc. London vol. XXIV. Part III April 1912, 168—171.

[19]) A. Eagle. Über eine neue Konkavgitter-Anordnung übersetzt aus dem Astrophys. Journ. 1910 p. 120 Bd. XXI von Ludwig Glaser, Z. f. wiss. Phot. X Heft 4/5. 1911. 137—165.

[20]) Ludwig Glaser. Eisen als Bezugsspektrum für Wellenlängenbestimmungen. Z. f. wiss. Phot. Bd. XI. Heft 11. 1912. 375–380. s. Tafel III.

[21]) A. Eagle. l. c.

[22]) Der Apparat ist der gleiche wie der von Eberhard für das Königliche Astrophysikalische Observatorium, Potsdam, angegebene. s. Eberhard. Zeitschrift für Instrumentenkunde. XXV. 371—382.

Seitenlänge und einem 30° Flintprisma mit versilberter Rückfläche von 64 mm Höhe und 89 mm Kantenlänge.

Dieses Instrument wurde für die spektrokopischen Arbeiten vom Verfasser in London 1911 entworfen.

Der Spektrograph hat ein Auflösungsvermögen von etwa 27000 für D und wird in einer besonderen Arbeit demnächst beschrieben werden. Die angewandte Plattengröße betrug 10×15 cm.

3. Messungsmethoden.

a) Ausmessung der Platten und Films.

Die Ausmessung der in London aufgenommenen Platten geschah mit verschiedenen, von Ad. Hilger Ltd. London angefertigten Meßapparaten. Die Ganghöhe der Schraube betrug 1 mm. Die Länge des Meßbereichs betrug 15 cm, d. h. die halbe Länge der Platten. Die tausendstel Millimeter konnten geschätzt werden. Eine ganz genaue Einstellung der Platten in Längserstreckung konnte nicht vorgenommen werden.

Der größte Teil der in London aufgenommenen Platten wurde mit dem Lohse-Toepfer'schen Meßapparat mit Druckvorrichtung des Kgl. Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam ausgemessen. Die Möglichkeit der Benutzung dieses ausgezeichneten Apparates verdanke ich der liebenswürdigen Erlaubnis von Herrn Geh. Regierungsrat Professor Dr. K. Schwarzschild und der freundlichen Unterstützung des verstorbenen Herrn Geh. Regierungsrat Prof. Dr. O. Lohse. Eine genaue Beschreibung des von Prof. Dr. O. Lohse angegebenen Apparates befindet sich in der Zeitschrift für Instrumentenkunde [23]). Ich möchte an dieser Stelle nur wenige Bemerkungen über den großen Vorteil der Druckvorrichtung machen. Der Apparat gestattet mittels Lupe und Nonius das Zehntausendstel eines Millimeters genau abzulesen, außerdem aber auch die Ablesungen durch Hebeldruck auf eine durch Schlepphebel betätigte Papierrolle zu drucken. Der Vorteil dieser Druckvorrichtung für spektroskopische Arbeiten liegt darin, daß dem Beobachter bei langen Messungsreihen die mühsame Arbeit des Aufschreibens der Ablesungen erspart bleibt. Der Beobachter kann das Auge während einer langen Messungsreihe unbewegt am Okular des Mikroskopes lassen, das Auge ermüdet dann nicht so stark, als wenn jedesmal die Ablesung notiert werden muß. Außerdem können erfahrungsgemäß bei der subjektiven Methode des Ablesens leicht Fehler unterlaufen, besonders wenn der Beobachter langandauernde, anstrengende Messungsreihen zu erledigen hat, sodaß der zufällige persönliche Fehler gegen Ende solcher Arbeiten größer wird. Durch die objektive Wiedergabe des Druckapparates ist der Beobachter vornehmlich zur Ausschaltung von Schreibfehlern in den Stand gesetzt, jederzeit den Wert einer ihm verdächtig erscheinenden Ablesung nochmals nachzuprüfen, ohne eine neue Messung vornehmen zu müssen. Die Vorrichtung leistet besonders bei der Ausmessung von linienreichen Metallspektren, sowie den meistens sehr linienreichen Bandenspektren gute Dienste.

Als besonderer Vorteil dieses großen Meßapparates sei angeführt, daß, was für Messungen von Gitterspektren großer Dispersion von Wichtigkeit ist, die Platte leicht in die gewünschte Lage durch Verstellen des Plattentisches, sowohl in der Höhenlage als auch in der Längsausdehnung eingestellt werden kann. Ferner sei die Länge der Schraube

---

[23]) Ein neuer Meßapparat für Spektren mit Registrier-Einrichtung von O. Toepfer & Sohn von Prof. O. Lohse in Potsdam.
Zeitschrift für Instrumentenkunde 1910. Juni. 169—173.

hervorgehoben. Hierdurch wird ein Messen über mehrere Normalen möglich. Dies ist von großer Bedeutung für die Ermittlung der Dispersionskurve.

Eine Probe eines Messungsstreifens ist in Abb. 1 wiedergegeben.

Abb. 1.

Die erste Zahlengruppe, die mit $\overset{\text{Bm}}{1}$ bezeichnet ist, stellt eine Ablesung der ersten erkennbaren Berylliumbandenlinie in $\overset{5}{}$der Nähe des Hauptkopfes bei $\lambda\lambda$ 4708, die zweite Zahlengruppe eine Ablesung für den Hauptkopf bei $\lambda\lambda$ 4708 und die dritte eine Ablesung für die internationale Eisenbezugslinie bei $\lambda\lambda$ 4707.288 J.-Å.

Die erste Ablesung ist	187.3875 mm
Die zweite Ablesung ist	187.2095 mm
Die dritte Ablesung ist	186.6912 mm

Die obere Zahlenreihe gibt die cm wieder und hat das Indexzeichen, die zweite Reihe zeigt die mm an. Die darunter befindliche Skala ist in Tausendsteln mm (μ) eingeteilt und trägt das Indexzeichen. Bei Anwendung einer Lupe lassen sich die Zehntel entsprechend den Zehntausendstel mm leicht schätzen. Die Zahlen unterhalb sind Erkennungszeichen für den Beobachter zur Feststellung von Linien. Die Zahlen darunter geben die geschätzte Intensität an.

Zur Auswertung der Wellenlängen wurden folgende Formeln benutzt:

$$\left.\begin{aligned} \lambda &= a + bs \\ \lambda &= a + bs + cs^2 \end{aligned}\right\} \text{ für Gitterspektren}$$

wo a, b und c Konstanten und s Ablesungen des Meßapparates darstellen.

$$\left.\lambda = \lambda_0 + \frac{a\,C}{s_0 + s}\right\} \text{ für Prismenspektren}$$

wo λ_0, C und s_0 Konstanten und s Ablesungen des Meßapparates darstellen.

Außerdem stand zur Ausmessung der Films ein großes Meßmikroskop der Firma Toepfer & Sohn, Potsdam, im Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie zur Verfügung.

b) Bezugsspektrum.

Als Bezugsspektrum für die Wellenlängenbestimmungen diente, soweit angängig, das Eisenbogenspektrum, nach den Bestimmungen der internationalen Vereinigung für Sonnenforschung (International Union for Cooperation in Solar Research).

Als die vorliegende Arbeit und die dazugehörigen Messungen unternommen wurden, lagen die später erschienenen Arbeiten über Messungen über Normalien dritter Ordnung

noch nicht vor. Es wurde daher so vorgegangen, daß mit Hilfe des ausgezeichneten Eisenatlas von Fabry und Buisson [24]) oder des älteren von Kayser und Runge [25]), die von Fabry und Buisson bestimmten und angeführten Normalien zweiter Ordnung, die nur um wenige Tausendstel Å.-E von den später international angenommenen Werten abweichen, durch Vergleich mit dem Atlas herausgesucht und zur Auswertung der Platten bestimmt wurden. Die Eisenlinien von Kayser wurden zum Ausgleich nur teilweise benutzt, ebenso die später erschienenen Messungen von Goos [26]), St. John und Ware [27]) und Janicki [28]). Es wurde versucht, mit Hilfe der Normalien zweiter Ordnung die in dem zu messenden Gebiet zwischen 4500 Å.-E und 5100 Å.-E liegenden Eisenlinien dritter Ordnung zu ermitteln. Diese Arbeit stieß auf die gleichen Schwierigkeiten, die von Goos, St. John und Ware und Janicki beobachtet wurden. Im allgemeinen wurden zur Auswertung der Wellenlängen die Eisenlinien über mindestens drei oder mehr internationale Bezugslinien gemessen. Es war dies besonders nötig, wegen der besonderen Aufstellung des Konkavgitters, das keine streng normalen Spektren gab.

Eagle [29]) führte diesen Umstand als Nachteil der Littrow'schen Aufstellung nach der Autokollimationsmethode gegenüber der Rowland'schen und Abney'schen an, doch ist dies tatsächlich nicht zutreffend, da, wie in neueren Arbeiten von Goos [30]) und Janicki [31]) gezeigt wird, daß bei Konkavgittern, die nach der Abney'schen Methode aufgestellt sind, für ganz genaue Wellenlängenbestimmungen eine lineare Gleichung $\lambda = a + bs$ die Bedingungen nicht streng erfüllt. Wenn auch die Abweichung gegen die lineare Gleichung bei der Littrow-Eagle'schen Anordnung größer ist als bei den üblichen, so ist sie selbst bei diesen nicht zu vernachlässigen und muß daher in allen Fällen bestimmt werden. Die rechnerische Auswertung des dritten Gliedes der Formel ist allerdings langwierig und bei logarithmischer Rechnung sogar unbequem, sodaß ich es auch bei dem meist ausgedehnten Umfang dieser Arbeit vorgezogen habe, eine Rechenmaschine zu benutzen und die kleinen Beträge für die Korrektion graphisch zu ermitteln.

Zur Auswertung der Wellenlängen im sichtbaren Teil wurde auch der von mir vorgeschlagene 25 prozentige Nickelstahl benutzt [32]).

Zur Auswertung der Wellenlängen an den Photographien mit dem Prismenspektrographen diente die Cornu-Hartmann'sche Formel. Da bekanntlich die Abmessungen der nach dieser Formel erhaltenen Wellenlängen kleinere Abweichungen von dem tatsächlichen Werte zeigen, ist es von Wichtigkeit, die berechneten Wellenlängen auszugleichen. Zu diesem Zwecke wurde ausschließlich das graphische Verfahren eingeschlagen und die mit dem Gitter ermittelten Werte zur Verbesserung der Wellenlängen eingeführt.

---

[24]) H. Buisson und Ch. Fabry. Spectre du Fer. Annales de la Faculté des Sciences de Marseille. Tome XVII. — Fasc. III 1908.

[25]) H. Kayser und C. Runge. Abhandlungen der Kgl. Akad. d. Wiss.

[26]) F. Goos. Wellenlängen-Normalen aus dem Bogenspektrum des Eisens im internationalen System. I. Teil von $\lambda\lambda$ 4282 bis 5324. Z. f. wiss. Phot. XI. Heft 1. 1912. p. 1—12. Fortsetzung von $\lambda\lambda$ 5328 bis 6495. Z. f. wiss. Phot. XI. 9. 1912. p 305—316.

[27]) Tertiary Standards with the Plane Grating the testing und selection of standards — first paper. Charles E. St. John und L. W. Ware. Astrophys. Journal 1912. 14—53. Contributions from the Mount Wilson Solar Abservatory No. 61.

[28]) L. Janicki. Z. f. wiss. Phot. XIII. 1914. p. 176.

[29]) Albert Eagle. Über eine neue Konkavgitteranordnung, übersetzt aus dem Astrophysical Journal von Ludwig Glaser. Z. f. wiss. Phot. 1911. Bd. X. p. 137—165.

[30]) F. Goos. Z. f. wiss. Phot. X. 200—208. 1911

[31]) L. Janicki. Z. f. wiss. Phot. XIII. 1914. p. 176—177.

[32]) Eisen als Bezugsspektrum von Ludwig Glaser. Z. f. wiss. Phot. Band XI. Heft 11. 1912. p. — Diese Arbeit enthält nähere Angaben über die Bestimmungen des internationalen Systems. (J.-Å.)

Bei der Ausmessung der Platten wurden namentlich die als Bezugslinien dienenden Eisenlinien besonders sorgfältig und mehrfach gemessen. Bei den Messungen wurde zur Vermeidung des toten Ganges der Schraube nur in einer Richtung gemessen und bei Wiederholung der Messung der Schlitten mit dem Meßmikroskop bei den Hilger'schen Meßapparates, wo der Plattentisch feststeht, bezw. der Schlitten mit dem Plattentisch bei den Töpfer'schen Meßapparaten, wo das Meßmikroskop feststeht, genügend weit zurückgedreht, und dann erst wieder vorgebracht.

Um die fortschreitenden Fehler der Meß-Schrauben auszugleichen, wurden die Platten und Films in den verschiedensten Bereichen derselben gemessen. Die Platten und Films wurden mehrfach hintereinander gemessen, um grobe Fehler bei der Ablesung zu vermeiden und gleichzeitig eine Möglichkeit zur Bewertung der Messungsgenauigkeit der einzelnen Reihen zu haben, und vertauscht — lange Wellen rechts und kurze Wellen rechts, um den Einfluß verschiedener Beleuchtung auszuschalten. Auch kamen verschiedene Vergrößerungen zur Anwendung.

c) Besprechung der Meßgenauigkeiten.

Folgende Beispiele erlauben eine Übersicht über die Meßgenauigkeit der benutzten Apparate. Messungsreihe 8 wird als Beispiel dafür gegeben und erlaubt einen Einblick in die Einstellungsgenauigkeit des Toepfer'schen Meßmikroskops bei Films des kleinen Konkavgitters in II. Ordnung und 10 facher Vergrößerung.

1. Eisenlinie 4707.288 J.-Å.

No.	Ablesung	Abweichung vom Mittel	Berechnet auf Wellenlängen	Abweichung in J.-Å vom Mittel
1	16.110	— .0044	4707.276	— .010
2	16.122	+ .0076	4707.304	+ .018
3	16.119	+ .0046	4707.297	+ .011
4	16.133	+ .0186	4707.330	+ .044
5	16.090	— .0244	4707.228	— .058
6	16.118	+ .0036	4707.295	+ .009
7	16.121	+ .0066	4707.301	+ .015
8	16.126	+ .0116	4707.313	+ .027
9	16.098	— .0164	4707.247	— .039
10	16.107	— .0074	4707.268	— .018
im Mittel	16.114_4	± .0105 mm	4707.286 J.-Å	± 0.0249 J.-Å

1 mm entspricht 4.79 Å.-E. (J.-Å) auf dem Film.

2. Eisenlinie 4878.224 J.-Å.

No.	Ablesung	Abweichung vom Mittel	Berechnet auf Wellenlängen	Abweichung in J.-Å vom Mittel
1	87.487	+ .011	4878.251	+ .027
2	87.455	— .021	4878.174	— .050
3	87.473	— .003	4878.217	— .007
4	87.484	+ .008	4878.243	+ .019
5	87.460	— .016	4878.186	— .038
6	87.468	— .008	4878.205	— .019
7	87.473	— .003	4888.217	— .007
8	87.497	+ .021	4878.275	+ .051
9	87.477	+ .001	4878.227	+ .003
10	87.485	+ .009	4878.246	+ .022
im Mittel	87.476	± .0091 mm	4878.224 J.-Å	± .0243 J.-Å

1 mm entspricht 4.79 Å-E (J.-Å) auf dem Film.

3. λλ 4708 J.-Å. Berylliumbande 1.

	λλ	Abweichung vom Mittel.
1	4708.696	— .002
2	4708.640	— .058
3	4708.706	+ .008
4	4708.694	— .004
5	4708.696	— .002
6	4708.746	+ .048
7	4708.696	— .002
8	4708.732	+ .034
9	4708.696	— .002
10	4708.679	— .019
	4708.698	± $.017_7$

4. λλ 4732 Berylliumbande 2.

	λλ	Abweichung vom Mittel.
1	4732.673	+ .045
2	4732.602	— .026
3	4732.607	— .021
4	4732.604	— .024
5	4732.650	+ .022
6	4732.628	± .000
7	4732.686	+ .058
8	4732.602	— .026
9	4732.602	— .026
10	4732.628	± .000
	4732.628	± $.024_8$

5. λλ 4754 Berylliumbande 3.

	λλ	Abweichung vom Mittel.
1	4754.824	— .163
2	4754.951	— .036
3	4754.948	— .039
4	4755.049	+ .062
5	4755.049	+ .062
6	4755.118	+ .131
7	4754.980	— .007
8	4754.960	— .027
9	4754.927	— .060
10	4755.059	+ .072
	4754.987	± .065 $_9$

Hieraus ist ersichtlich, daß mit steigender Ordnungszahl die Genauigkeit bei Messung von Bandenkanten fällt.

Die Meßgenauigkeit mit den Toepfer'schen Meßapparaten beträgt Bruchteile der Tausendstel Millimeter. Die Genauigkeit der Hilger'schen Apparate ist wesentlich geringer. Die hohe Genauigkeit der Meßapparate wird bei der Art der Linien, um die es sich in dieser Arbeit handelt, bei weitem nicht ausgenutzt, da es meist Linien sind, die entweder eine große Breite besitzen oder auch sonst an sich kleinere flächenhafte Gebilde darstellen, deren Auflösung uns an die Grenze der bisher zur Verfügung stehenden Instrumente bringt.

Die Genauigkeit für Messungen mit dem kleinen Konkavgitter beträgt, wie obige Beispiele zeigen, wenige Hundertstel Å.-E (J.-Å.).

Wesentlich genauer sind die Messungen an Platten zweiter Ordnung, die mit dem großen Konkavgitter aufgenommen sind mit dem großen Lohse-Toepfer'schen Meßapparat.

Folgende Beispiele zeigen dies.

6. Eisenlinie λλ 4602.947.

Ablesung am großen Potsdamer Meßapparat mm	Abweichung vom Mittel mm	Abweichung vom Mittel in Wellenlängen
147.5		
2270	+ 0.0018	+ 0.0047
2285	+ 0.0033	+ 0.0086
2245	— 0.0007	— 0.0018
2210	+ 0.0042	+ 0.0109
2310	+ 0.0142	+ 0.0329
2252	± 0.0000	± 0.0000
2190	+ 0.0062	+ 0.0161

im Mittel
147.7252 mm ± 0.0043 mm ± 0.0107 J.-Å.

7. Eisenlinie 4647.439 J.-Å.

Ablesung am großen Potsdamer Meßapparat mm	Abweichung vom Mittel mm	Abweichung vom Mittel in Wellenlängen
164.0		
3385	+ 0.0015	+ 0.0039
3352	— 0.0018	— 0.0047
3370	± 0.0000	± 0.0000
3390	+ 0.0020	+ 0.0052
3355	— 0.0015	— 0.0039

im Mittel
164.3370 mm ± 0.0013 mm ± 0.0035 J.-Å.

8. Eisenlinie 4859.758 J.-Å.

Ablesung am großen Potsdamer Meßapparat mm	Abweichung vom Mittel mm	Abweichung vom Mittel in Wellenlängen
224.0		
1045	+ 0.0026	+ 0.0068
0995	— 0.0024	— 0.0062
0965	— 0.0054	— 0.0140
1030	+ 0.0011	+ 0.0028
1055	+ 0.0036	+ 0.0094
1025	+ 0.0006	+ 0.0016

im Mittel
224.1019 mm ± 0.0026 mm ± 0.0068 J.-Å.

4. Ergebnisse.

a) Allgemeine Beschreibung des Spektrums.

Das Beryllium hat ein Linien- und ein Bandenspektrum.

1. Das Bandenspektrum.

Das Bandenspektrum des Berylliums teile ich nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit in vier Gruppen ein:

Gruppe A) bei $\lambda\lambda$ 5446 Å.-E.
Gruppe B) bei $\lambda\lambda$ 5054 Å.-E.
Gruppe C) bei $\lambda\lambda$ 4708 Å.-E.
Gruppe D) bei $\lambda\lambda$ 4426 Å.-E.

Die Gruppe C wurde zuerst beobachtet und ist in der verschiedensten Dispersion photographisch aufgenommen worden. Sie ist sehr charakteristisch für das Beryllium. Es ist die einzige Gruppe, die sich ohne größere Schwierigkeiten mit sehr großer Dispersion photographieren läßt. Sie wurde zunächst in der ersten Ordnung des 10-Fuß-Konkavgitters erhalten. Die ersten Aufnahmen wurden auf Kohle gemacht, wovon ich später abkam, um Kupferelektroden zu nehmen. Die Dispersion betrug 5.6 Å.-E. auf 1 mm. Die Auflösung in der ersten Ordnung betrug 48700. Obwohl die Expositionszeiten bei diesen Aufnahmen schon sehr lange waren, wurde es versucht, das Spektrum in zweiter Ordnung auf Kupferelektroden zu photographieren. Dies gelang, obwohl dürch die notwendigerweise langen Belichtungszeiten, die Stunden betrugen, die Aufnahmen sehr erschwert wurden. Die Dispersion der zweiten Ordnung beträgt 2.56 Å.-E. auf 1 mm. Die Dispersion reichte aus, um den gesetzmäßigen Bau der einzelnen, von den Kanten ausgehenden Linienserien zu beobachten. Die Auflösung in der zweiten Ordnung betrug 97 400 (siehe Tafel 6).

Die Bandengruppe C des Berylliums zeigt je nach der angewandten Dispersion verschiedenes Aussehen. Je kleiner die Dispersion ist, je besser lassen sich die Maxima der einzelnen Hauptköpfe unterscheiden. Bei kleiner Dispersion zeigt die Gruppe C sieben deutliche Köpfe, die scharf nach Violett sind, sowie einen achten bei kleinerer Dispersion und besonders auf Photographien langer Belichtungsdauer erkennbares Maximum. Wie abhängig das Erscheinen dieser Kanten von der Dispersion ist, zeigt das folgende Beobachtungsergebnis:

Bei der kleinen Dispersion des Heele'schen Spektographen mit etwa 3500 Auflösungsvermögen, sind deutlich sieben Kanten und ein achtes Maximum erkennbar. Bei der etwa 6000 betragenden Auflösung des Quarzspektrographen erkennt man mit Leichtigkeit fünf Kanten und die Andeutung einer sechsten (siehe Tafel 4, Abb. 1 u. 2). Bei den Photographien mit dem von mir entworfenen Spektrographen, der ein Auflösungsvermögen von 27 000 hat, zeigen sich gleichfalls bei normaler Belichtungszeit fünf Kanten und die Andeutung einer sechsten. Bei langen Belichtungszeiten sind sieben Kanten erkennbar und die achte ist als ein Maximum der Intensität sichtbar. Von der dritten Kante ab scheinen jedoch die Kanten doppelt und mehrfach gegliedert zu sein (siehe Tafel 3).

Das kleine Konkavgitter, das in der ersten Ordnung ein Auflösungsvermögen von 27 500 besitzt, zeigt ein gleiches Bild, wie der große Autokollimationsspektrograph. Fünf Kanten und eine sechste — angedeutet — sind bei mittlerer Belichtungszeit erkennbar (siehe Tafel 5, Abb. 2).

In der zweiten Ordnung, die einem Auflösungsvermögen von 55 000 entspricht, sind deutlich nur die vier ersten Kanten erkennbar und die fünfte angedeutet (siehe Tafel 5, Abb. 1). — Der Unterschied zwischen den Aufnahmen mit dem kleinen Konkavgitter- und dem großen Autokollimationsspektrographen sind dahin zu erklären, daß die lineare Dispersion des Konkavgitters in der ersten Ordnung etwas größer ist als die des Autokollimationsspektrographens bei etwa gleicher Auflösung, während sie in der zweiten Ordnung schon bedeutend größer ist.

Zur Abscheidung der Aluminiumlinien und -banden wurde bei allen Aufnahmen neben das Berylliumspektrum mit dem gleichen Apparat stets das Bogenspektrum des Aluminiums photographiert, da eine Verunreinigung der Berylliumpräparate durch Aluminium das Wahrscheinlichste war und ein etwaiger Aluminiumgehalt chemisch bekanntlich nur sehr schwer nachweisbar ist. Besonders an Aufnahmen im Gitterspektrum fiel die außerordentliche Ähnlichkeit des Aluminium- und des Berylliumspektrums auf. Die blaue Gruppe C des Berylliums bei $\lambda\lambda$ 4708 weist eine auffallende Übereinstimmung in ihrem Bau mit der blaugrünen Aluminiumbande bei $\lambda\lambda$ 4842 auf. Diese Übereinstimmung der beiden Bandenspektren bezieht sich indes nicht nur auf Gleichheit des allgemeinen Aufbaues, sondern wird durch zahlenmäßige Beziehung bestätigt. Hier mag nur erwähnt sein, daß diese auffallende Gleichheit der beiden Spektren zum Ausgang der Annahme gemacht wurde, daß eine weitgehende „Homologie“ der optischen Eigenschwingungen zwischen Aluminium und Beryllium besteht. Ich bin mir wohl bewußt, daß schon häufig der Begriff der Homologie bei Spektren zu phantastischen Spekulationen[33]) Anlaß gegeben hat, hier hat man es jedoch mit einer einfachen Beziehung zu tun, die durch ihre Annahme es ermöglicht hat, aus Analogieschlüssen das Spektrum des Berylliums aus dem des Aluminiums zu bestimmen.

Nachdem ich die blaue Gruppe des Berylliums bei $\lambda\lambda$ 4708 erhalten und die auffallende Ähnlichkeit mit dem Aluminiumspektrum festgestellt hatte, nahm ich an, daß sich weitere gesetzmäßig und einfach aufgebaute Kantenspektren beim Beryllium finden würden. Diese Annahme hat die weiteren Versuche bestimmt und die Ergebnisse baben die Richtigkeit derselben bestätigt. Am Okular des Wellenlängenspektroskops wurde zunächst eine grüne Bandenkante festgestellt.

Die Messungen ergaben sich zu $\lambda\lambda$ 5048 und 5072 usw.[34]) Unglücklicherweise fallen diese Zahlen in das stärkste Empfindlichkeitsminimum farbenempfindlicher Trockenplatten, sodaß mindestens gewisse Schwierigkeiten bestanden, diese Bande überhaupt photographisch festzustellen. Bei langer Expositionszeit konnte die Bande mit Hilfe des Autokollimationsspektographen No. 3 erhalten werden. Bei der schon oben geschilderten Schwierigkeit, das sehr schwer sich verflüchtigende Berylliumoxyd zu gleichmäßiger Emission zu bringen und der, abgesehen von der Unempfindlichkeit der Platte in dem betreffenden Gebiet dadurch bedingten langen Belichtungszeit, traten natürlich die Kohlebanden besonders bei $\lambda\lambda$ 5165 störend auf. Die durch graphische Methode erhaltenen annähernden Wellenlängen waren die folgenden:

$\lambda\lambda$ 5040, 5060, 5076. 5100.

Um die Kohlebanden zurückzudrängen, erwies sich der Zusatz von Natriumsalzen zur Beryllerde als sehr vorteilhaft.

---

[33]) Vergleiche hierüber das in Kaysers Handbuch der Spektroskopie Bd. II Gesagte.

[34]) Die weiteren Bandenkanten waren zu schwach für eine sichere Messung im Okular.

Kohlebandenfreie Aufnahmen der grünen Bande, die ich mit B bezeichnen will, wurden mit dem Heele'schen Spektographen erhalten. Abbildungen und Vergrößerungen zeigen, wie sich auch gerade kleine Apparate zum Nachweis des Berylliums mit Hilfe seines Bandenspektrums eignen (siehe Tafel 4). Zu Wellenlängenmessungen wurden die mit kleiner Dispersion erhaltenen Platten nicht herangezogen, zu diesem Zwecke wurden nur Aufnahmen mit dem Autokollimationsspektographen des Verfassers, vornehmlich aber mit dem kleinen Gitter des Kaiser Wilhelm-Instituts für physikalische Chemie und Elektrochemie benutzt, die mit metallischem Beryllium erhalten waren. Für die Feststellung der Wellenlängen der Bande B eigneten sich Kupferelektroden nicht, da die starken grünen Kupferlinien die Übersicht über die zarte Bande erschwerten und außerdem das Kupfer in diesem Wellengebiet auch ein Bandenspektrum zeigt, daß dann auch störend auftritt. Für die endgültigen Bestimmungen der Wellenlängen wurden Kohleelektroden mit Beryllsalzen, die reichlich mit Natriumsalzen vermischt waren, oder Berylliummetall verwandt. Bei Anwendung von Berylliummetall erübrigte sich der Zusatz von Natriumsalzen.

Auf den mit Kupferelektroden aufgenommenen Platten mit dem großen Gitter erster Ordnung, sowie dem Quarspektographen trat ein violettes Bandenspektrum auf, das ich als Gruppe D bezeichne. Es ist im Vergleich zur Gruppe C verhältnismäßig schwach. Die Wellenlängen desselben wurden an Platten erster Ordnung mit dem großen Gitter und an einem Film in erster und zweiter Ordnung mit dem kleinen Gitter ermittelt. Besonders leicht waren die Banden bei Anwendung von Berylliummetall zu erhalten, sonst traten sie nur dann auf, wenn die Emission so gleichmäßig war, daß die Kohlebanden vollständig zurückgedrängt wurden (siehe Tafel 5, Abb. 3).

Schließlich wurde im gelbgrünen Spektralgebiet noch eine Bande beobachtet. Es war anzunehmen, daß auch eine der Bande $\lambda\lambda$ 5359 des Aluminiums entsprechende Bande des Berylliums sich finden lassen würde. Bei langen Belichtungszeiten erschien auf den Platten, die mit dem Heele'schen Spektrographen aufgenommen waren, ein dunkles Intensitätsmaximum, das auf das Vorhandensein des theoretisch zu erwartenden Spektrums zu schließen gestattete. Bei Aufnahmen mit Metall wurde mit Hilfe des Autokollimationsspektrographen des Verfassers die Bande ermittelt, die mit A im folgenden bezeichnet wird. Sie läßt vier Köpfe deutlich erkennen. Ein fünfter läßt sich nicht mit der gleichen Sicherheit angeben (siehe Tafel 3).

Über die Zugehörigkeit der Banden des Berylliums zum Oxyd oder zum Metall selbst können keine Aussagen gemacht werden. Es mag aber bemerkt sein, daß sich das Beryllium auch in dieser Beziehung wie das Aluminium verhält, bei dem diese Frage bisher auch unentschieden geblieben ist. Ich würde der Annahme zuneigen, daß es sich um Banden handelt, die das Metall selbst ergibt.

2. Das Linienspektrum.

Obwohl die Arbeit in erster Linie der Ermittelung des Bandenspektrums des Berylliums galt, wurde beiläufig auch das Linienspektrum beobachtet; im wesentlichen werden die Angaben der bisherigen Forscher bestätigt.

Im Sichtbaren hat das Beryllium nur eine Linie bei $\lambda\lambda$ 4572 (siehe Tafel 5, Abb. 3 und Tafel 3, sowie Tafel 4, Abb. 1). Die Hauptemission liegt im Ultraviolett. Hier sind besonders die beiden Liniendoublette $\lambda\lambda$ 3030—3031 und 3320—3321 auffallend. Nicht festzustellen war die von Kirchhoff, Hartley, Demarçay, Lockyer und Baxandall im Funkenspektrum beobachtete Linie bei $\lambda\lambda$ 4488, das Funkenspektrum wurde jedoch nicht in den Kreis der Betrachtungen gezogen. Im übrigen verweise ich auf eine demnächst

erscheinende, ausführliche Veröffentlichung. Nicht zu ermitteln waren die Linien von Rowland und Tatnall bei λλ 3367.719 und λλ 2175.072 und die Linie von Lockyer bei λλ 3901.75. Linie 4572 ist auf allen Platten sichtbar. Die Linien λλ 3321.5, 3321.2 und 3031 und 3030 sind in zweiter Ordnung und dritter Ordnung der beiden Konkavgitter ermittelt worden (siehe Tafel 5, Abb. 1).

Linie λλ 3321 erscheint bei langen Belichtungszeiten in der ersten Ordnung des kleinen Konkavgitters nicht getrennt.

Beide ultravioletten Linienpaare sind im Quarzspektrographen nicht zu trennen (siehe Tafel 4, Abb. 1—3).

Linie λλ 2650 ist in der ersten Ordnung des kleinen Gitters nicht getrennt, in der zweiten Ordnung zeigt sie allerdings selbst bei langen Belichtungszeiten Auflösung an den Spitzen.

Linie λλ 2494 ist bei langen Belichtungszeiten in keiner der drei ersten Ordnungen des kleinen Konkavgitters getrennt; bei kurzen erscheint sie als deutliches Doublett.

Es wären somit aus der Tabelle von

Rowland und Tatnall

folgende Linien auszuscheiden:

2175.072 2898.352 2986.187 2986.546 3367.719

b) Zusammenfassende Aufzählung des gefundenen Zahlenmaterials.

1. Grüngelbe Berylliumbande. A

Vorläufige Ermittlungen der Bandenköpfe dieser Gruppe ergaben die Werte:

1. 5450
2. 5468
3. 5483
4. 5495

5508 ?

5520 ?

Die genauen Werte hierfür sind:

J.-Å. Internationales System	Å.-E. Rowland'sches System	J.-Å. bezogen auf dem luftleeren Raum	$\frac{1}{\lambda}$ bezogen auf den luftleeren Raum Internationales System
5445.9	5446.1	5447.4	18357.4
5462,7	5462.9	5464.2	18301.0
5477.0	5477.2	5478.5	18253.2
5488.1	5488.3	5489.6	18216.3

2. Grüne Berylliumbande. B

		J.-Å. Internationales System	Å.-E. Rowland'sches System	J.-Å. bezogen auf den luftleeren Raum	$\frac{1}{\lambda}$ bezogen auf den luftleeren Raum Internationales System
1.	Bande	5054.10	5054.28	5055.47	19780.55
2.	„	5075,21	5075.39	5076.60	19698.23
3.	„	5094.64	5094.82	5096.03	19623.12
4.	„	5111.97	5112.15	5113.37	19556.58
5.	„	5127.25	5127.43	5128.65	19498.30
6.	„	5140.53	5140.71	5141.94	19447.90
7.	„	5151.45	5151.63	5152.86	19406.70

3. Blaue Berylliumbande. C

		J.-Å. Internationales System	Å.-E. Rowland'sches System	J.-Å. bezogen auf den luftleeren Raum	$\frac{1}{\lambda}$ bezogen auf den luftleeren Raum
1.	Bande	4708.67	4708.85	4709.96	21231.64
2.	„	4732.66	4732.84	4733.95	21124.00
3.	„	4754.46	4754.64	4755.76	21027.13
4.	„	4775.37	4775.55	4776.68	20935.33
5.	„	4795.24	4795.62	4796.56	20848.27
6.	„	4813.04	4813.22	4814.36	20771.20
7.	„	4827.35	4827.53	4828.67	20709.64

4. Violette Berylliumbande. D

		J.-Å. Internationales System	Å.-E. Rowland'sches System	J.-Å. bezogen auf den luftleeren Raum	$\frac{1}{\lambda}$ bezogen auf dem luftleeren Raum
1.	Bande	4427,34	4427.52	4428.56	22580.70
2.	„	4451,79	4451.96	4453.02	22456.70
3.	„	4474,79	4474.96	4476.02	22341.80
4.	„	4496,47	4496.64	4497.71	22233.53
5.	„	4515,25	4515.42	4516.49	22141.10
6.	„	4530,66	4530.83	4531.90	22065.80

c. Gesetzmäßigkeiten.

Die vorstehend angegebenen, einzelnen Bandengruppen ergeben ein System von Serien für sich, wie aus der Abnahme der ersten Differenzen der Wellenlängen sich ergibt.

Tabelle der ersten Differenzen der Wellenlängen.

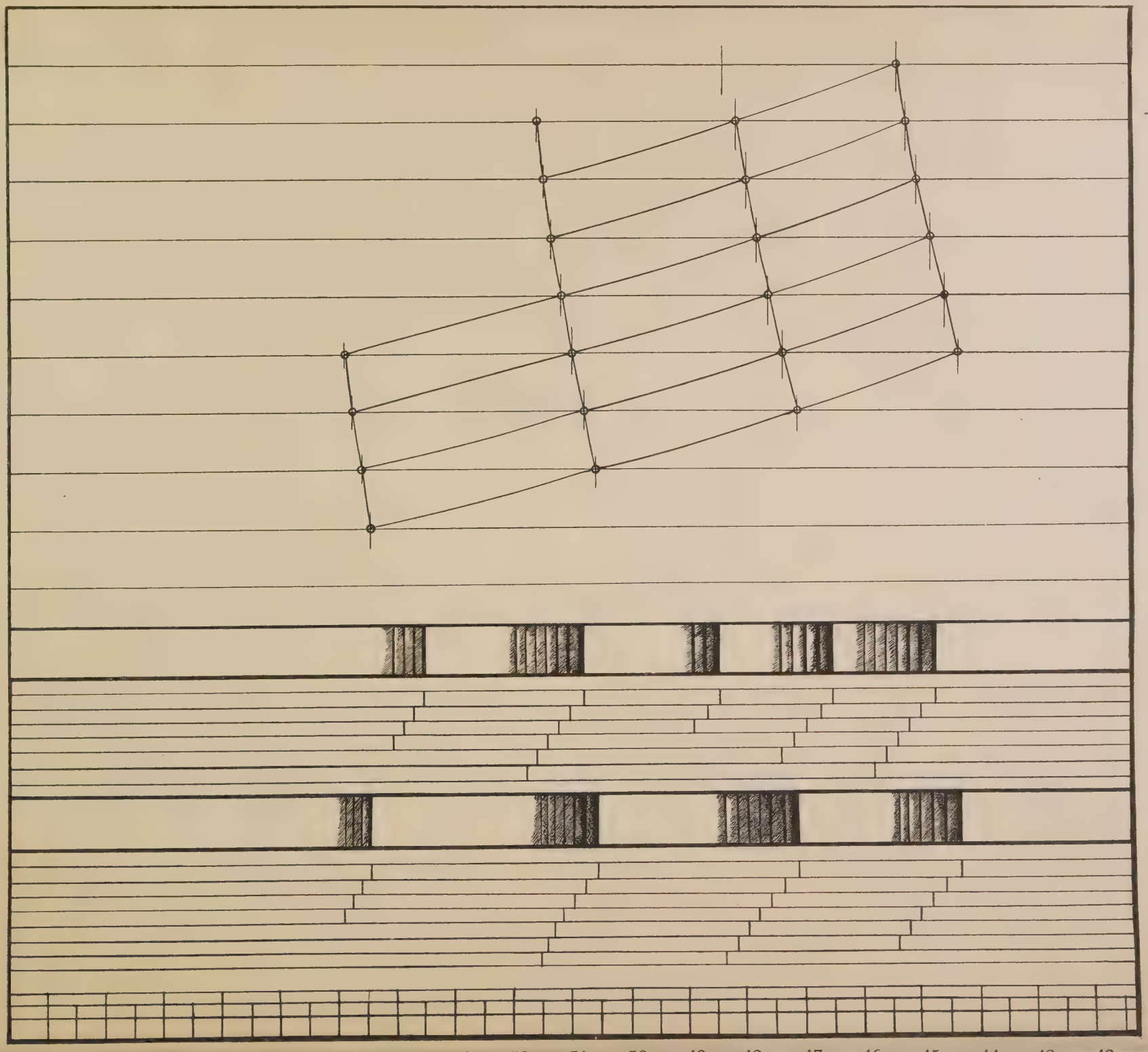
Blauviolettes Band		Blaugrünes Band		Grünes Band		Grüngelbes Band	
λ	$\frac{1}{\lambda}$	λ	$\frac{1}{\lambda}$	λ	$\frac{1}{\lambda}$	λ	$\frac{1}{\lambda}$
24.45	124.00	24.02	107.64	21.11	82.32	16.8	56.4
23.00	114.90	21.84	96.87	19.43	75.11	14.3	47.8
21.68	108.27	20.91	91.80	17.33	66.54	11.1	36.9
18.78	92.43	19.87	87.06	15.28	58.28	—	—
15.41	75.30	17.80	77.07	12.28	50.40	—	—
—	—	14.31	61.56	10.92	41.20	—	—

Aus dieser Anordnung ergibt sich wiederum, daß die ersten Differenzen der Bandengruppen nach Rot zu abnehmen, mithin die Bandengruppen nach Rot zu einem asymptotischen Ende zusammendrängen. Dies kommt auch in der Feinstruktur zum Ausdruck. Der Abstand der einzelnen Serienglieder von Gruppe zu Gruppe nimmt nach Rot zu gesetzmäßig ab. Die Hauptköpfe der Bandengruppen lassen sich wiederum zu Serien zusammenfassen, und es ergibt sich hier eine Zusammenstellung, die im einzelnen auf Tafel 1 u. 3 zur Darstellung gebracht ist.

Bei den ganzen Serienbetrachtungen bei Bandenspektren ist zu beachten, daß wir das wahre Gesetz der Bandenverteilung nicht kennen und es sich vorläufig nur um eine annähernde Anordnung handeln kann. Ich sehe daher von einer genauen Berechnung der Konstanten nach ähnlichen Formen, wie sie z. B. Deslandres gegeben hat, ab, da nur zwei- und mehrgliedrige Exponentialformeln den Verlauf der Gruppen wahrheitsgetreu darstellen und da auf der anderen Seite für eine solche Berechnung die mittleren Abweichungen der einzelnen Werte mit steigender Ordnungszahl zu groß sind, um die Anwendung solcher genauer Formeln zu rechtfertigen. Die zweckmäßigste Verteilung der Serien für die Hauptberylliumbanden ist in dieser Arbeit daher durchweg graphisch durchgeführt (siehe Tafel 1, 2, 3 u. 6).

Auf Tafel 1 sind die Gesetzmäßigkeiten des Berylliumbandenspektrum zusammenfassend zur Darstellung gebracht. Als Abscissen sind die Wellenlängenwerte in $\lambda\lambda$ J.-Å aufgetragen, als Ordinaten die Ordnungszahlen 1, 2, 3, 4, u. s. f. Man ersieht aus dem gleichmäßigen Verlauf der Kurven für die Serien, die die einzelnen Köpfe der Bandengruppen bilden, deren Zusammengehörigkeit. Diese Serien ergeben die einzelnen Bandengruppen, die in dieser Arbeit mit A, B, C und D bezeichnet worden sind. Die ersten Differenzen dieser Serienglieder sind in der oben gegebenen Tabelle nach Wellenlängen ($\lambda\lambda$ in J.-Å) und Wellenfrequenzen zusammengestellt. Auf Tafel 3 sind diese Serien gleichfalls ersichtlich. Ferner lassen sich auch die entsprechenden Köpfe der einzelnen Bandengruppen in ein Seriensystem bringen. Dies ergibt sich gleichfalls aus der Darstellung auf Tafel 1. (vgl. auch Tafel 3). Hier sind die Serien als Seriengruppen 1 bis 7 bezeichnet.

Tafel 1.


Ordnungszahlen.
Aluminium
Serien-Gruppe 1
,, Gruppe 2
,, Gruppe 3
,, Gruppe 4
,, Gruppe 5
,, Gruppe 6
Beryllium
Serien-Gruppe 1
,, Gruppe 2
,, Gruppe 3
,, Gruppe 4
,, Gruppe 5
,, Gruppe 6
,, Gruppe 7
λλ in Å.-E.
60 59 58 57 56 55 54 53 52 51 50 49 48 47 46 45 44 43 42

Seriengruppe I.

λλ	erste Differenz
5447.40	
	391.93
5055.47	
	345.81
4709.66	
	281.10
4428.56	

Seriengruppe II.

λλ	erste Differenz
5462.70	
	386.1
5076.60	
	342.65
4733.95	
	280.93
4453.02	

Seriengruppe III.

λλ	erste Differenz
5478.5	
	382.47
5096.03	
	340.27
4755.76	
	279.74
4476.02	

Seriengruppe IV.

λλ	erste Differenz
5489.60	
	376.23
5113.37	
	336.69
4776.68	
	278.97
4497.71	

Seriengruppe V.

λλ	erste Differenz
. . . . .	
	. . . . .
5128.65	
	332.09
4796.56	
	280.07
4516.49	

Seriengruppe VI.

λλ	erste Differenz
. . . . .	
	. . . . .
5141.94	
	327.58
4814.36	
	282.46
4531.90	

Seriengruppe VII.

λλ	erste Differenz
. . . . .	
	. . . . .
5152.86	
	324.19
4828.67	
	. . . . .
. . . . .	

Die obigen Zahlen sind Werte in J.-Å, bezogen auf den luftleeren Raum. Aus dem Verlauf der ersten Differenzen in den einzelnen Seriengruppen geht hervor, daß ein gesetzmäßiger Verlauf besteht. Dies wird gleichfalls durch die Darstellung auf Tafel 1 bestätigt, woraus hervorgeht, daß ein gleichbleibender Abstand zwischen den einzelnen Kurven besteht, sodaß man durch Verschieben um einen bestimmten Wellenlängenbetrag bei einer gleichzeitigen geringen Drehung des Koordinatensystems die Kurven zur Deckung bringen kann.

Auf einen Punkt möchte ich noch nachdrücklich aufmerksam machen, der die Serienanordnung bis zu gewissem Grade schwierig macht. Er ist besonders wichtig, da er bei allen Bandenspektren zu beachten ist, und meistens dazu führen wird, für die zahlenmäßige Berechnung von Serien eine Unsicherheit einzubringen, die die Mühe einer genauen Berechnung nicht wert erscheinen läßt. Zu dieser Betrachtung weise ich in erster Linie auf die Tafeln 3, 4, 5 u. 6 hin. In Abschnitt IV ist bereits eingehend auf die Verschiedenheit des Aussehens des Bandenspektrums bei verschiedener Dispersion hingewiesen worden.

Die Bande C bei $\lambda\lambda$ 4708 soll als deutliches Beispiel hierfür herausgegriffen werden.

Tafel 4 zeigt die Bande mit kleinster Dispersion. Man erkennt 5 scharfe Maxima deutlich. Die anderen gehen durch das Abbildungsverfahren verloren. Auf Tafel 3 erscheinen nur mehr die ersten drei Bandenköpfe scharf. Der vierte erscheint als Doppelkopf. Mit steigender Ordnungszahl oder steigender Dispersion wird diese Erscheinung noch deutlicher. Tafel 5 und 6 zeigen dies. Tafel 5 Abb. 2 zeigt etwa dasselbe wie Tafel 3. Tafel 5 Abb. 1 zeigt dieselbe Bande in doppelter Auflösung. Der dritte Bandenkopf erscheint bereits zerlegt, gleichfalls der vierte. Ein fünfter ist nur mit Mühe zu erkennen. Dies scharfe Maximum, das bei kleiner Dispersion ein einfaches Liniengebilde zu sein scheint, löst sich also bei steigender auflösender Kraft in Linienkomplexe auf. Dies zeigt sich auch bei der Messung der Köpfe, die natürlich dadurch in der Genauigkeit beeinflußt wird.

Bei Messungen an Films, die mit dem kleinen Konkavgitter aufgenommen sind, hat sich folgendes ergeben.

	$\lambda\lambda$—J.-Å
3. Bandenkante . .	4754.71
Doppelkante hierzu .	55.45
4. Bandenkante . .	4774.97
Doppelkante hierzu .	76.09
5. Bandenkante . .	4794.46
Doppelkante hierzu .	96.04

Auf Tafel 6 sieht man bei größter Dispersion nur mehr die erste Bande $\lambda\lambda$ 4708 einheitlich; $\lambda\lambda$ 4732 erscheint bereits doppelt und $\lambda\lambda$ 4755 erscheint als Linienkomplex. Ein vierter Bandenkopf ist kaum mit Sicherheit zu erkennen.

Ähnliche Verhältnisse wie oben an der Bande C bei $\lambda\lambda$ 4708 lassen sich auch an der Bande B bei $\lambda\lambda$ 5054 beobachten.

Hier erscheinen in erster Ordnung auf Films aufgenommen mit dem kleinen Konkavgitter, die Bandenkanten von der fünften Kante an doppelt.

	$\lambda\lambda$ in J.-Å.
5. Bandenkante . .	5127.33
Doppelkante hierzu .	28.88
6. Bandenkante . .	40.51
Doppelkante hierzu .	41.73
7. Bandenkante . .	51.45
Doppelkante hierzu .	53.09

Aufbau der blauen Berylliumbande C bei λλ 4708.

λλ in J.-Å. Internationales System	λλ in Å.-E. Rowlandsches System	Intensität	Korrektion auf den luftleeren Raum $\frac{+}{\Delta}\lambda$	λλ in J.-Å. bezogen auf den luftleeren Raum	$\frac{1}{\lambda}$ bezogen auf den luftleeren Raum	Bemerkungen
4708.67	08.85	6	1.29	4709.96	21231.60	Hauptkopf
4708.99	09.17	5	„	4710.28	21230.16	erste erkennbare Serienlinie
4709.22	09.40	5	„	4710.51	21229.12	Serie α, γ
4709.57	09.75	5	„	4710.86	21227.54	Serie β, δ
4709.84	10.02	5	„	4711.13	21226.32	Serie α, γ
4710.14	10.32	5	„	4711.43	21224.97	Serie β, δ
4710.48	10.66	5	„	4711.77	21223.45	Serie α, γ
4710.85	11.03	5	„	4712.14	21221.78	Serie β, δ
4711.24	11.42	4	„	4712.53	21220.02	Serie α, γ
4711.68	11.86	4	„	4712.97	21218.05	Serie β, δ
4712.14	12.32	4	„	4713.43	21215.95	Serie α, γ
4712.66	12.84	4	„	4713.95	21213.64	Serie β, δ
4713.20	13.38	4	„	4714.49	21211.20	Serie α, γ
4713.78	13.96	4	„	4715.07	21208.60	Serie β, δ
4714.40	14.58	4	„	4715.69	21205.80	Serie α, γ
4715.02	15.20	4	„	4716.31	21202.98	Serie β, δ
4715.71	15.89	3—4	„	4717.00	21199.91	Serie α, γ
4716.41	16.59	3	„	4717.70	21196.77	Serie β, δ
4717.17	17.35	3	„	4718.46	21193.65	Serie α, γ
4717.95	18.13	3	„	4719.24	21189.76	Serie β, δ
4718.77	18.95	3	„	4720.06	21186.17	Serie α, γ
4719.51	19.69	3	„	4720.80	21182.85	Serie β } erste Berylliumbandenlinie, die sich deutlich auflösen ließ.
4719.66	19.84	3	„	4720.95	21182.17	Serie δ }
von hier ab beginnen sich die Berylliumbandenlinien aufzulösen						
4720.39	20.57	3	„	4721.68	21178.90	Serie α
4720.52	20.70	3—4	„	4721.81	21178.32	Serie γ
4721.32	21.50	3	„	4722.61	21174.73	Serie β
4721.47	21.65	3—4	1.30	4722.77	21173.96	Serie α
4722.20	22.38	3	„	4723.50	21170.74	Serie δ

$\lambda\lambda$ in J.-Å. Internationales System	$\lambda\lambda$ in Å.-E. Rowlandsches System	Intensität	Korrektion auf den luftleeren Raum $\frac{+}{\Delta}\lambda$	$\lambda\lambda$ in J.-Å. bezogen auf den luftleeren Raum	$\frac{1}{\lambda}$ bezogen auf den luftleeren Raum	Bemerkungen
4722.43	22.61	3—4	1.30	4723.73	21109.71	Serie γ
4723.16	23.34	3	„	4724.46	21166.92	Serie β
4723.42	23.60	3—4	„	4724.72	21165.28	Serie δ
4724.16	24.34	3	„	4725.46	21161.96	Serie α
4724.46	24.64	3	„	4725.76	21160.62	Serie γ
4725.22	25.40	3	„	4726.52	21157.21	Serie β
4725.53	25.71	3	„	4726.83	21155.78	Serie δ
4726.23	26.41	3	„	4727.53	21152.70	Serie α
4726.64	26.82	3	„	4727.94	21150.86	Serie γ
4727.32	27.50	3—4	„	4728.62	21147.82	Serie β
4727.78	27.96	3	„	4729.08	21145.76	Serie δ
4728.44	28.62	3—4	„	4729.74	21142.81	Serie α
4728.93	29.11	3	„	4730.23	21140.62	Serie γ
4729.59	29.77	3—4	„	4730.89	21137.67	Serie β
4730.19	30.37	3	„	4731.49	21134.94	Serie δ
4730.77	30.95	3	„	4732.07	21132.40	Serie α
4731.47	31.65	3—4	„	4732.77	21129.28	Serie γ
4732.02	32.20	3—4	„	4733.32	21126.82	Serie β
4732.66	32.84	5	„	4733.96	21123.99	II. Berylliumkante
4733.31	33.49	3	„	4734.61	21121.06	
4733.57	33.75	1	„	4734.87	21119.90	
4733.88	34.06	1	„	4735.18	21118.51	
4734.06	34.24	3	„	4735.54	21116.81	
4734.50	34.68	3	„	4735.80	21115.75	
4734.76	34.94	1—2	„	4736.06	21114.60	
4735.14	35.32	1—2	„	4736.44	21112.90	
4735.43	35.61	1—2	„	4736.73	21111.60	
4735.64	35.82	1—2	„	4736.94	21110.67	
4635.87	36.05	3—4	„	4737.17	21109.64	
4736.08	36.26	1—2	„	4737.38	21108.71	
4736.52	36.70	1	„	4737.82	21106.76	

$\lambda\lambda$ in J.-Å. Internationales System	$\lambda\lambda$ in Å.-E. Rowland-sches System	Intensität	Korrektion auf den luftleeren Raum $\pm\lambda$	$\lambda\lambda$ in J.-Å. bezogen auf den luftleeren Raum	$\frac{1}{\lambda}$ bezogen auf den luftleeren Raum	Bemerkungen
4736.91	37.09	1	130	4738.21	21105.01	
4737.19	37.37	3	„	4738.49	21103.72	
4737.53	37.71	1—2	„	4738.83	21102.25	
4738.26	38.44	3	„	4739.56	21099.00	
4738.60	38.78	3	„	4739.90	21097.49	
4738.91	39.09	1	„	4740.21	21096.11	
4739.10	39.28	1	„	4740.40	21095.27	
4739.53	39.71	1	„	4740.83	21093.35	
4739.75	39.93	1	„	4741.05	21092.37	
4740.00	40.18	3—4	„	4741.30	21091.26	
4740.27	40.45	1	„	4741.57	21090.06	
4740.34	40.52	1—2	„	4741.64	21089.75	
4741.28	41.46	½	„	4742.58	21085.57	
4741.48	41.66	3	„	4742.78	21084.67	
4741.74	41.92	1	„	4743.04	21083.52	
4742.54	42.72	1	„	4743.84	21079.97	
4742.81	42.99	1	„	4744.11	21078.77	
4742.93	43.11	3—4	„	4744.23	21078.23	
4743.38	43.56	1	„	4744.68	21076.18	
4743.78	43.96	1	„	4745.08	21074.46	
4744.29	44.47	1	„	4745.59	21072.19	
4744.44	44.62	4	„	4745.74	21071.53	
4745.38	45.56	1	„	4746.68	21067.35	
4745.47	45.65	1	„	4746.77	21066.96	
4745.77	45.95	1	„	4747.07	21065.62	
4746.00	46.18	4	„	4747.30	21064.60	
4746.42	46.60	1	„	4747.72	21062.74	
4746.99	47.17	1	„	4748.29	21060.21	
4747.33	47.51	1	„	4748.63	21058.70	
4747.59	47.77	3—4	„	4748.89	21057.55	
4748.01	48.19	1	„	4749.31	21055.70	

$\lambda\lambda$ in J.-Å. Internationales System	$\lambda\lambda$ in Å.-E. Rowlandsches System	Intensität	Korrektion auf den luftleeren Raum $\pm\Delta\lambda$	$\lambda\lambda$ in J.-Å. bezogen auf den luftleeren Raum	$\frac{1}{\lambda}$ bezogen auf den luftleeren Raum	Bemerkungen
4748.32	48.50	1	1.30	4749.62	21054.32	
4749.20	49.38	4	„	4750.50	21050.42	
4750.15	50.33	1	„	4751.45	21046.20	
4750.37	50.55	1	„	4751.67	21045.23	
4750.84	51.02	3	„	4752.14	21043.15	
4751.15	51.33	1	„	4752.45	21041.78	
4751.37	51.55	1	„	4752.67	21040.80	
4751.53	51.71	1/2	„	4752.83	21040.10	
4752.52	52.70	4	„	4753.82	21035.72	
4752.88	53.06	1/2	„	4754.18	21034.12	
4753.60	53.78	1	„	4754.90	21030.94	
4753.72	53.90	1	„	4755.02	21030.41	
4754.26	54.44	3	„	4755.56	21028.01	
4755.02	55.20	5	„	4756.32	21024.66	III. Bandenkopf
4756.02	56.20	4	„	4757.32	21020.24	
4756.49	56.67	1	„	4757.79	21018.16	
4756.74	56.92	1	„	4758.04	21017.06	
4757.33	57.51	3—4	„	4758.63	21014.46	
4757.51	57.69	1	„	4758.81	21013.65	
4757.76	57.94	3—4	„	4759.06	21012.55	
4758.39	58.57	1	„	4759.69	21009.77	
4758.53	58.71	3—4	„	4759.83	21009.15	
4759.59	59.77	3—4	„	4760.89	21004.48	
4759.89	60.07	3	„	4761.19	21003.15	
4760.38	60.56	1	„	4761.69	21000.95	
4761.20	61.38	1	„	4762.51	20997.33	
4761.45	61.63	3—4	„	4762.76	20996.22	
4762.44	62.62	3	„	4763.75	20991.86	
4762.67	62.85	2	„	4763.98	20990.85	
4763.33	63.51	4	1.31	4764.64	20987.94	
4763.92	64.10	2	„	4765.23	20985.35	

$\lambda\lambda$ in J.-Å. Internationales System	$\lambda\lambda$ in A.-E. Rowland-sches System	Intensität	Korrektion auf den luftleeren Raum $\frac{+}{\Delta}\lambda$	$\lambda\lambda$ in J.-Å. bezogen auf den luftleeren Raum	$\frac{1}{\lambda}$ bezogen auf den luftleeren Raum	Bemerkungen
4764.27	64.45	1	1.31	4765.58	20983.80	
4764.54	64.72	1	„	4765.85	20982.61	
4765.27	65.45	4	„	4766.58	20979.40	
4765.84	66.02	1	„	4767.15	20976.89	
4766.41	66.59	1	„	4767.72	20974.39	
4766.85	67.03	3	„	4768.16	20972.45	
4767.18	67.36	4	„	4768.49	20971.00	an dieser Stelle liegt eine Unsicherheit, da hier eine breite Kupferlinie sich befindet.
4768.35	68.53	3	„	4769.66	20965.85	
4768.86	69.04	1	„	4770.17	20963.61	
4769.19	69.37	4	„	4770.50	20962.16	
4769.81	69.99	2	„	4771.12	20959.44	
4770.43	70.61	1	„	4771.74	20956.71	
4771.18	71.35	3	„	4772.48	20953.47	
4771.40	71.58	1	„	4772.71	20952.46	
4771.95	72.13	1	„	4773.26	20950.04	
4772.97	73.15	3	„	4774.28	20945.56	
4773.24	73.42	3	„	4774.55	20944.38	
4773.67	73.85	1	„	4774.98	20942.49	
4774.07	74.25	1	„	4775.38	20940.73	
4774.58	74.76	2	„	4775.89	20938.50	
4775.32	75.50	3	„	4776.63	20935.26	IV. Bandenkopf
4775.76	75.94	2	„	4777.07	20933.33	
4776.22	76.40	1—2	„	4777.53	20940.00	
4777.09	77.27	2—3	„	4778.40	20927.84	
4777.43	77.61	1	„	4778.74	20925.02	
4777.89	78.07	3	„	4779.20	20924.00	
4778.62	78.80	1	„	4779.93	20920.81	
4778.90	79.08	1	„	4780.21	20919.58	
4779.59	79.77	4	„	4780.90	20916.56	
4781.04	81.22	1	„	4782.35	20910.23	
4781.44	81.62	1	„	4782.75	20908.47	

$\lambda\lambda$ in J.-Å. Internationales System	$\lambda\lambda$ in Å.-E. Rowlandsches System	Intensität	Korrektion auf den luftleeren Raum $+\Delta\lambda$	$\lambda\lambda$ in J.-Å. bezogen auf den luftleeren Raum	$\frac{1}{\lambda}$ bezogen auf den luftleeren Raum	Bemerkungen
4781.79	81.97	2—3	1.31	4783.10	20906.94	
4782.47	82.65	1	„	4783.78	20903.97	
4783.13	83.31	2	„	4784.44	20901.03	
4783.44	83.62	1	„	4784.75	20899.73	
4783.90	84.08	3	„	4785.21	20897.72	
4784.94	85.12	3	„	4786.25	20893.18	
4786.26	86.44	3	„	4787.57	20887.42	
4786.79	86.97	3	„	4788.10	20885.11	
4787.72	87.90	1	„	4789.03	20381.06	
4788.30	88.48	1	„	4789.61	20878.53	
4788.60	88.78	3—4	„	4789.91	20876.22	
4789.13	89.31	1	„	4790.44	20874.91	
4790.54	90.72	3	„	4791.85	20868.76	
4790.89	91.07	3	„	4792.20	20867.24	
4792.07	92.25	1	„	4793.38	20862.10	
4792.42	92.60	2—3	„	4793.73	20860.58	
4793.27	93.45	2	„	4794.58	20856.89	an dieser Stelle liegt eine Unsicherheit, da hier eine breite Kupferlinie sich befindet.
4794.39	94.57	2	„	4795.70	20852.01	
4794.81	4794.99	2	„	4796.12	20850.19	
4795.11	95.29	2	„	4796.42	20848.89	5. Bandenkopf.
4795.64	95.82	3	„	4796.95	20846.58	
4796.41	96.59	2	„	4797.72	20843.23	
4797.04	97.22	4	„	4798.35	20840.50	
4798.08	98.26	3	„	4799.39	20835.98	
4798.42	98.60	3	„	4799.73	20834.50	
4799.92	4800.10	1	„	4801.23	20828.00	
4800.52	00.70	4	1.32	4801.83	20825.40	
4800.57	00.75	1	„	4801.89	20825.10	
4801.94	01.12	1	„	4803.26	20819.18	
4802.62	02.80	2	„	4803.94	20816.24	
4803.03	03.21	2	„	4804.35	20814.47	

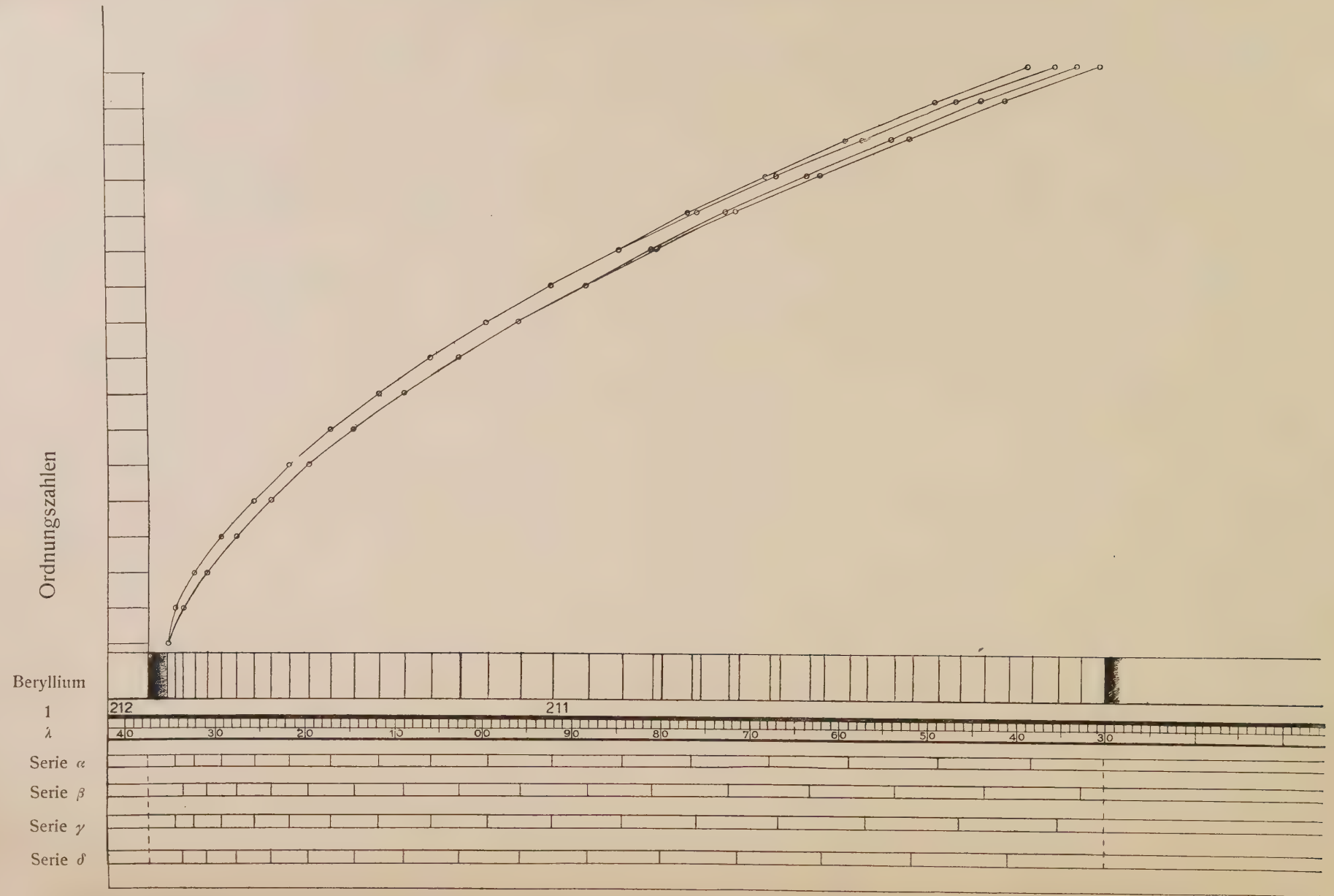
$\lambda\lambda$ in J.-Å. Internationales System	$\lambda\lambda$ in Å.-E. Rowland-sches System	Intensität	Korrektion auf den luftleeren Raum $\pm\lambda$	$\lambda\lambda$ in J.-Å. bezogen auf den luftleeren Raum	$\frac{1}{\lambda}$ bezogen auf den luftleeren Raum	Bemerkungen
4803.28	03.46	1	1.32	4804.50	20813.82	
4804.49	04.67	1	„	4805.81	20808.15	
4804.70	04.88	1	„	4806.02	20807.14	
4805.04	05.22	½	„	4806.36	20805.77	
4805.55	05.73	2	„	4806.87	20803.55	
4806.86	07.04	3	„	4808.18	20797.46	
4808.11	08.29	3	„	4809.43	20792.48	
4808.51	08.69	1	„	4809.83	20790.76	
4809.07	09.25	3	„	4810.39	20788.33	
4809.78	09.96	1	„	4811.00	20785.70	
4810.38	10.56	1	„	4811.60	20783.11	
4810.72	10.90	3	„	4812.04	20781.21	
4811.27	11.45	3	„	4812.59	20778.83	
4812.23	12.41	3	„	4813.55	20774.71	
4813.37	13.55	3	„	4814.69	20769.77	6. Bandenkopf.
4813.58	13.76	2	„	4814.90	20768.86	
4814.13	14.31	1	„	4815.45	20766.49	
4815.97	15.15	3	„	4817.29	20758.56	
4817.18	17.36	1	„	4818.50	20753.34	
4817.85	17.03	1	„	4819.17	20750.46	
4818.27	18.45	1	„	4819.59	20748.66	
4818.72	18.90	2	„	4820.04	20746.72	
4819.89	20.07	1	„	4821.21	20741.69	
4820.57	20.75	1	„	4821.89	20738.76	
4821.49	21.67	1	„	4822.81	20734.80	
4821.89	22.07	1	„	4823.21	20733.08	
4822.91	23.19	1	„	4824.23	20728.70	
4823.52	23.70	1	„	4824.84	20726.08	
4824.22	24.40	1	„	4825.54	20723.07	
4825.30	25.48	1	„	4826.62	20718.44	
4825.98	26.16	1	„	4827.30	20715.51	

$\lambda\lambda$ in J.-Å. Internationales System	$\lambda\lambda$ in Å.-E. Rowlandsches System	Intensität	Korrektion auf den luftleeren Raum $\pm\Delta\lambda$	$\lambda\lambda$ in J.-Å. bezogen auf den luftleeren Raum	$\frac{1}{\lambda}$ bezogen auf den luftleeren Raum	Bemerkungen
4827.06	27.24	1	1.32	4828.38	20710.88	
4827.81	27.99	1	„	4829.13	20707.66	
4828.10	28.28	1	„	4829.42	20706.42	
4828.66	28.84	1	„	4829.98	20704.02	
4829.93	30.11	1	„	4831.25	20698.58	
4830.25	30.43	1	1.33	4831.58	20697.76	
4832.32	32.50	1	„	4833.65	20688.30	
4832.77	32.95	2	„	4834.10	20686.38	
4834.57	34.75	1	„	4835.90	20678.68	
4835.28	35.46	1	„	4836.61	20675.64	
4835.72	35.90	1	„	4837.05	20673.75	
4836.76	36.94	1	„	4838.09	20669.31	
4837.95	38.13	1	„	4839.28	20664.23	
4838.66	38.84	1	„	4839.99	20661.20	
4838.98	38.16	1	„	4840.31	20659.83	
4839.68	39.86	1	„	4841.01	20656.85	
4840.52	40.70	1	„	4841.85	20653.27	
4841.25	41.43	1	„	4842.58	20650.09	
4841.62	41.80	1	„	4842.95	20648.57	
4842.29	42.47	1	„	4843.62	20645.71	
4843.18	43.36	1	„	4844.51	20641.92	
4843.61	43.79	1	„	4844.94	20640.09	
4844.70	44.88	1	„	4845.03	20639.70	
4845.92	46.10	1	„	4847.25	20630.26	
4847.74	47.92	1	„	4849.07	20622.51	
4850.85	51.03	1	„	4852.18	20609.30	
4851.27	51.45	1	„	4852.60	20607.51	
4854.00	54.18	1	„	4855.33	20595.92	
4857.02	57.20	1	„	4858.35	20683.12	

Tafel 2.

Struktur der blauen Berylliumbande bei $\lambda\lambda$ 4708.

Darstellung des Verlaufes der einzelnen Linienserien, α, β, γ und δ, die von dem blauen Hauptbandenkopf bei $\lambda\lambda$ 4708 ausgehen.
Ordinaten-Ordnungszahlen; Abscissen Wellenlängen in $\frac{1}{\lambda} = \nu$.



Aus der langen Liste der Linien der blauen Berilliumbande C geht hervor, daß die Auflösung derselben fast vollständig gelungen ist.

Spalte 1 gibt die gemessenen Werte, $\lambda\lambda$ in J.-Å, wieder.

Spalte 2 ist erhalten durch Addition von $+ \Delta\lambda = 0.18$ Å.-E zur Beziehung der Wellenlängen auf das Rowland'sche System.

Spalte 3 gibt die Intensität nach Kayser an.

Spalte 4 gibt den Betrag der Korrektion zur Beziehung der Wellenlängen auf den luftleeren Raum nach einer Tabelle von Kayser, Spalte 5 und 6 die auf den luftleeren Raum bezogenen Wellenlängen in $\lambda\lambda$, bezw. $\frac{1}{\lambda}$.

Von der Hauptkante bei $\lambda\lambda$ 4708 gehen vier Serien von Linien aus, die mit α, β, γ und δ bezeichnet sind. Eine Übersicht über den Verlauf dieser Serien gibt Tafel 2, wo als Abcissen die Wellenfrequenzen $\frac{1}{\lambda} = \nu$, jedoch nicht auf den luftleeren Raum bezogen, dargestellt sind. Die Bezeichnung und Zugehörigkeit der einzelnen Glieder ist in der Tabelle angegeben. Von $\lambda\lambda$ 4719 erscheinen die Bandenlinien doppelt. Es ist jedoch anzunehmen, daß auch die anderen Linien zwischen $\lambda\lambda$ 4708 und 4719 sich weiter auflösen lassen, jedoch bedarf es hierzu noch stärker auflösender Gitter. Der Verlauf der Serien über die zweite Bandenkante $\lambda\lambda$ 4732 hinaus ist schwierig zu verfolgen. Bevor keine weiteren Kennzeichen, wie das Verhalten der Linien im elektrischen oder magnetischen Felde, bekannt sind, muß die Einordunug in Serien eine willkürliche bleiben. Eine ungefähre Verteilung gibt die Darstellung auf Tafel 6.

d) Beziehung der Gesetzmäßigkeiten des Berylliumbandenspektrums zu denen des Aluminiumbandenspektrums.

Wie aus der Darstellung auf Tafel 1 hervorgeht, besteht zwischen den Bandenspektren des Berylliums und des Aluminiums eine weitgehende Ähnlichkeit. In kurzen Zügen soll hier das wesentliche mitgeteilt werden. Ausführlich wird die Frage von mir an anderer Stelle behandelt werden.

Das Bandenspektrum des Aluminiums ist durch mehrfache Untersuchungen gut bekannt. Die in Frage kommenden Wellenlängen entnehme ich einer Arbeit von Grünter und Hasselberg. Die Werte von Grünter haben den Vorzug, daß sie im Internationalen System gegeben sind, sodaß ich von den von mir bisher gebrauchten Hasselberg'schen Werten bis auf wenige Zahlen Abstand nehmen kann.

Wie schon früher (S. 20) von mir erwähnt worden ist, entsprechen sich die blauen Berylliumbande $\lambda\lambda$ 4708 und die blaue Aluminiumbande $\lambda\lambda$ 4842.

Der genaue Wert von Grünter für den Hauptkopf dieser Bande ist $\lambda\lambda$ 4842.268, der auf den luftleeren Raum bezogene Wert beträgt nach Hinzufügung von $+ \Delta\lambda$ = 1.328 $\lambda\lambda$ 4843.596 und $\frac{1}{\lambda}$, bezogen auf den luftleeren Raum somit 20645.80. Der entsprechende Wert für den Hauptkopf der Berylliumbande beträgt $\lambda\lambda$, bezogen auf den luftleeren Raum 4709.96, bezw. $\frac{1}{\lambda}$, bezogen auf den luftleeren Raum 21231.60. Die Differenz Aluminium — Beryllium beträgt somit

$$\lambda\lambda \quad 4843.596 - 4709.96 = 133.63_6 \text{ bezw.}$$

$$\frac{1}{\lambda} \; 20645.80 - 21231.60 = 585.8.$$

Nimmt man nun den zweiten von Grünter beobachteten Kopf der blauen Aluminiumbande $\lambda\lambda$ 4866.366 J.-Å, entsprechend $\lambda\lambda$ 4867.701 bezogen auf den luftleeren Raum, bei $\frac{1}{\lambda} = 20543.59$ und berücksichtigt man die oben erhaltenen Differenzen 133.63_6 bezw 585.8, indem man sie entweder abzieht (Werte in Wellenlängen) oder hinzufügt (Werte in Wellenfrequenzen), so erhält man $\lambda\lambda$ 4734.065 bezw. $\frac{1}{\lambda}$ 21129.34 für den entsprechenden zweiten Bandenkopf der blauen Berylliumbande. Die tatsächlich beobachteten Werte sind $\lambda\lambda$ 4733.96 bezw. $\frac{1}{\lambda}$ 21123.99. Die Abweichung zwischen den berechneten und den beobachteten Werten liegt somit in der Grenze der Beobachtungsfehler. In ähnlicher Weise läßt sich diese Gesetzmäßigkeit auch zwischen den andern Gruppen bestätigen. In welcher Weise sich diese Gesetzmäßigkeit auch vom chemischen Standpunkt deuten läßt, wird in einer besonderen Arbeit gezeigt werden.

e) Nachweis von Beryllium.

Das Beryllium läßt sich leicht mittels des in vorliegender Arbeit ausführlich beschriebenen und abgebildeten Bandenspektrums nachweisen. Besonders charakteristisch ist das Auftreten der blauen Bande mit dem Hauptkopf bei $\lambda\lambda$ 4708. Diese Reaktion hat gegenüber der Reaktion des Linienspektrums den Vorzug nicht zu großer Empfindlichkeit. Sehr kleine Mengen Berylliums lassen sich leicht durch die beiden Berylliumdoubletts $\lambda\lambda$ 3322—3321 und $\lambda\lambda$ 3131—3130 nachweisen. Besonders eignet sich die Linie $\lambda\lambda$ 3131 und 3130 zum Nachweis sehr geringer Mengen. Die Empfindlichkeit des Linienspektrums im elektrischen Lichtbogen ist kaum so groß, wie, besonders von Chemikern, nach der Empfindlichkeit der Reaktion der Flammenspektren im allgemeinen angenommen wird.

Zur Probe des Nachweises wurden 2 Sorten Beryll von Merck bezogen, ein norwegischer und ein französischer (Limoges). Beide Berylle enthielten Eisen, welches durch mehrere Linien gekennzeichnet war. Aluminium war durch die beiden ultravioletten Doubletts vertreten, ebenso wie Beryllium. Die Aufnahmen erstreckten sich von etwa $\lambda\lambda$ 5100—2500 und wurden in der ersten und zweiten Ordnung des kleinen Konkavgitters von 1780 mm Krümmungsradius vorgenommen.

Zur Abscheidung der Kohlelinien wurde ein Spektrum von Acheson Graphit aufgenommen, der, wie die spektroskopische Untersuchung ergab, erstaunlich rein war.

Im Taschenspektroskop beobachtet, geht das Verdampfen des Berylls folgendermaßen vor sich.

Das Mineral schmilzt ziemlich leicht im elektrischen Lichtbogen, verspritzt auch nicht so leicht, wie manche andere es tun. Zuerst gehen die Alkalien und das Calcium fort Sodann setzt bald die Emission des Bandenspektrums ein. Unter den kannelierten Banden ist besonders für das Auge die blaue Bande des Aluminiums bei $\lambda\lambda$ 4842 und die grüne $\lambda\lambda$ 5079 empfindlich. Zwischen dem violetten und dem blauen Hauptband des Aluminiums bei $\lambda\lambda$ 4648 und $\lambda\lambda$ 4842 blitzt deutlich ein hellblauer Streifen bei $\lambda\lambda$ 4708 auf, dessen Aufblitzen mit dem Auftreten zweier Linien im Violett deutlich verknüpft ist. Wenn die Emission sehr stark ist, läßt sich auch das grüne Band des Berylliums $\lambda\lambda$ 5054 nachweisen. Bei einem Beryll, der annähernd 13% Beryllerde und 19% Tonerde enthält, tritt natürlich das Spektrum des Berylliums hinter dem des Aluminiums zurück. Bei der Untersuchung des Reinheitsgrades von Beryllpräparaten zeigt sich dem Beobachter im Taschenspektroskop ein entgegengesetztes Bild. Die Anwesenheit von Aluminium wird sich meist durch das stärkere oder schwächere Vorhandensein der blauen Hauptbande des Aluminiums $\lambda\lambda$ 4842

nachweisen lassen. Bei der schwierigen Trennung von Aluminium und Beryllium ist wohl in jedem Berylliumpräparat die Anwesenheit von Spuren Aluminium nachweisbar. Für die Prüfung von Berylliumpräparaten auf Reinheit und die Feststellung eines etwaigen Gehaltes an Aluminium ist daher der spektroskopische Nachweis mit Hilfe des Bandenspektrum des Aluminium von gewisser Bedeutung auch für die Leuchtkörperindustrie, da diese Probe sehr leicht auch von einem Arbeiter durchgeführt werden kann, während auf rein chemischem Wege die Bestimmung von Aluminium in Beryllium oder umgekehrt mit ziemlich großen Schwierigkeiten verbunden ist.

Die spektrographischen Methoden bei Anwendung der Photographie des Spektrums besonders mit mittelgroßen Gitterspektrographen besitzen eine Bedeutung, die leider noch nicht genügend bekannt und gewürdigt sind. Es ist daher erforderlich, an anderer Stelle eine eingehende Beschreibung der Methoden zu geben, die dem arbeitenden Chemiker nützlich sein werden, besonders wenn sich die Untersuchungen auf seltenere Elemente erstrecken.

Zusammenfassung.

1. Es werden die Wellenlängen der Berylliumbanden nach dem Internationalen (J.-Å.) und Rowland'schen System gegeben.
2. Das Bandenspektrum des Berylliums wird genau untersucht, beschrieben und sein gesetzmäßiger Bau festgelegt.
3. Es werden Angaben über den analytischen Nachweis des Berylliums durch die Spektralanalyse gemacht.
4. Das Berylliumspektrum wird durch Abbildung in seinen typischen Ausbildungsformen dargestellt.

Lebenslauf.

Am 4. September 1889 wurde ich, Ludwig Carl Richard Glaser, zu Berlin als Sohn des Kgl. Baurats und Patentanwalts Ludwig Glaser geboren und bin evangelisch.

Von Oktober 1895 an besuchte ich die Vorschule des Askanischen Gymnasiums zu Berlin, später das Gymnasium und verließ das letztere mit dem Zeugnis der Reife im September 1907. Oktober 1908 bezog ich die Kgl. Technische Hochschule zu Charlottenburg und studierte daselbst Hüttenkunde; auch an der Berliner Universität hörte ich Vorlesungen. Ich bestand am 22. Oktober 1910 die Vorprüfung für die Fachrichtung Eisenhüttenkunde mit „gut“, das Verbandsexamen für Chemiker am 15. Juli 1910. Im folgenden Jahre studierte ich am Imperial College of Science and Technology in South Kensington London, hauptsächlich Physik, physikalische Chemie und Hüttenkunde. Oktober 1911 bezog ich die Kgl. Technische Hochschule in Breslau, woselbst ich die Diplomhauptprüfung für Eisenhütteningenieure am 28. Juni 1913 „Mit Auszeichnung“ bestand.

Zur Erfüllung der geforderten praktischen Tätigkeit war ich auf dem Eisen- und Stahlwerk Hoesch A.G. in Dortmund, bei der Firma Gebrüder Stumm in Neunkirchen-Saar, bei der Workington Iron & Steel Co. in Workington Cumberland Nord-England und bei der Peiner Walzwerks-Aktien-Gesellschaft in Peine tätig.

Seit Herbst 1913 bis zum August 1914 habe ich an den Technischen Hochschulen in Breslau und Berlin, zuletzt im Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin-Dahlem, Abteilung für physikalische Chemie und Elektrochemie an der Dissertation „Beiträge zur Kenntnis des Spektrums des Berylliums“ gearbeitet.

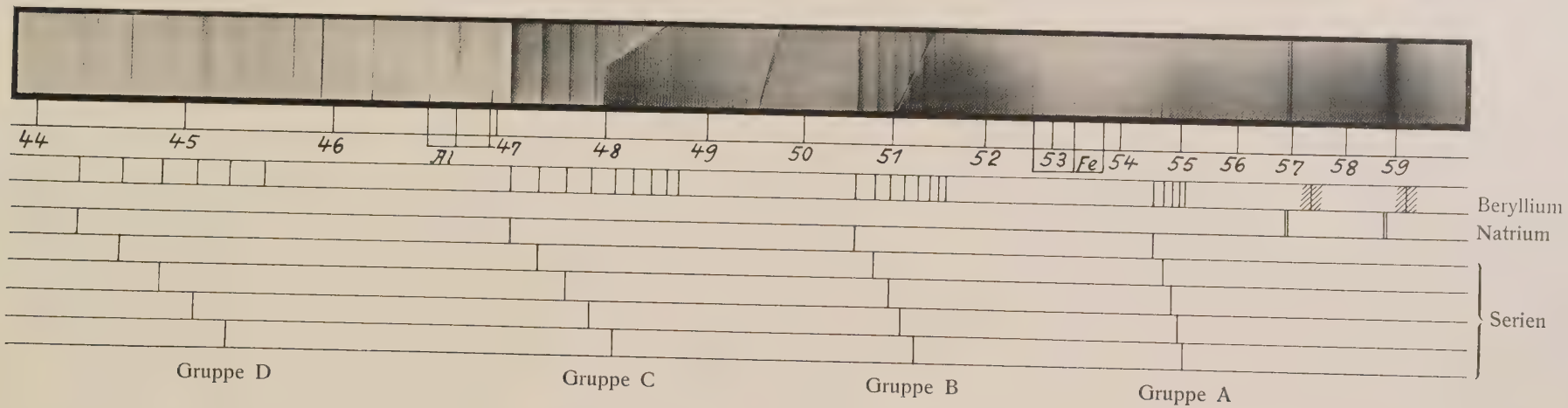
Nach Ausbruch des Krieges war ich bis 11. Oktober 1914 bei der Königlichen Fortifikation in Breslau als Ingenieur tätig, vom 1. Januar 1915 bis 1. Oktober 1915 als Betriebsingenieur der Firma Fried. Krupp, Abteilung Friedrichs-Alfred-Hütte zu Rheinhausen. Am 9. Oktober 1915 bin ich im 5. Pionier-Ersatz-Bataillon Glogau eingetreten, Mitte Dezember in das Eisenbahnregiment Nr. 4, Berlin-Schöneberg versetzt worden und stehe seit März im Felde.

Druck von Gebrüder Grunert, Berlin SW

Tafel 3.

Gesamtübersicht über das Bandenspektrum des Berylliums und seine Serien.

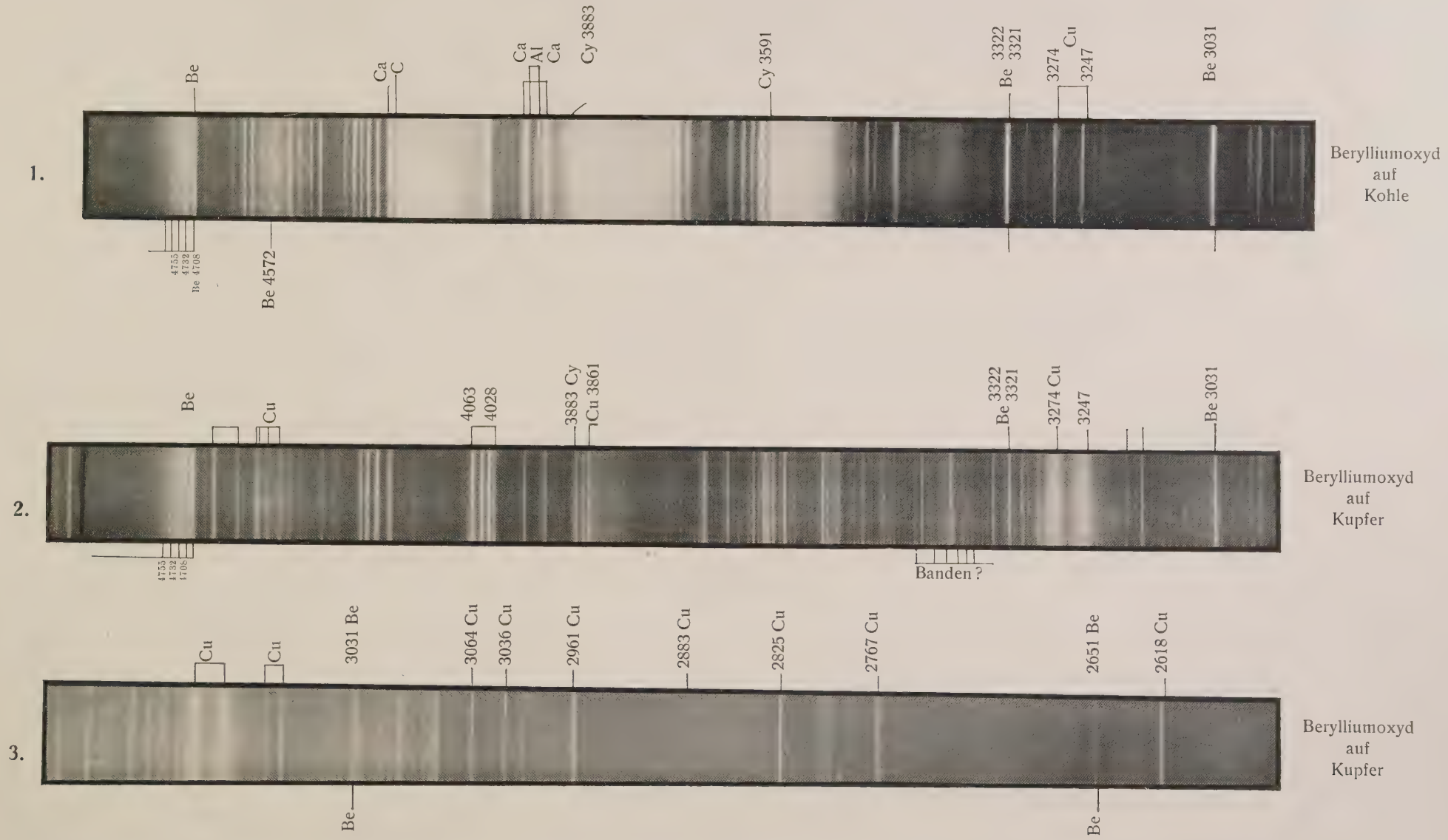
Nach Vergrößerungen verschiedener Platten zusammengestellt nach Aufnahmen mit dem großen Littrow-Prismenspektrographen.



Tafel 4.

Bogenspektrum des Berylliumoxyds im Blau, Violett und Ultraviolett.

Aufgenommen mit dem Hilger'schen Quarz-Spektrographen, vergrößert.



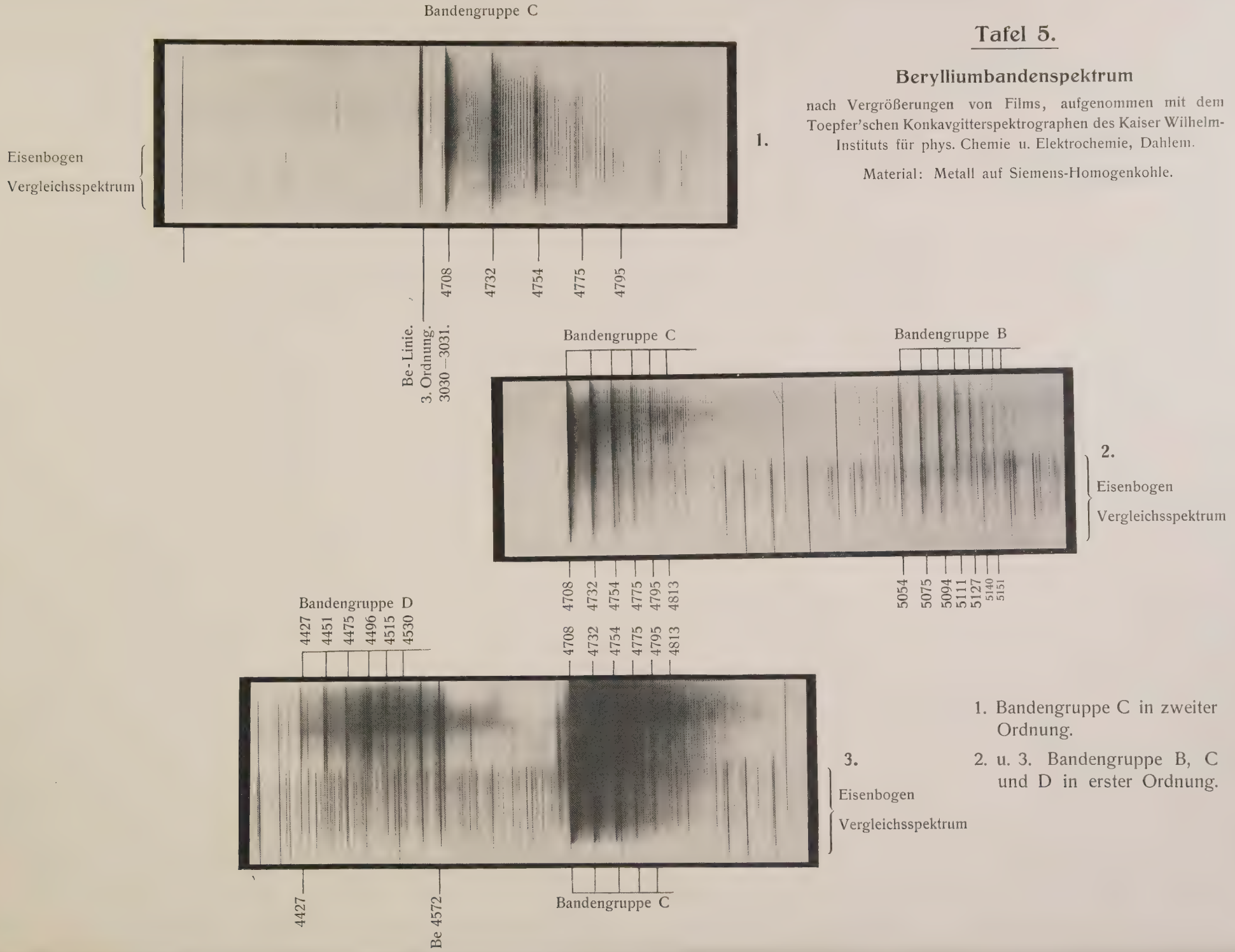
1. Berylliumoxyd auf Kohleelektroden.
2. 3. Berylliumoxyd auf Kupferelektroden.

Tafel 5.

Berylliumbandenspektrum

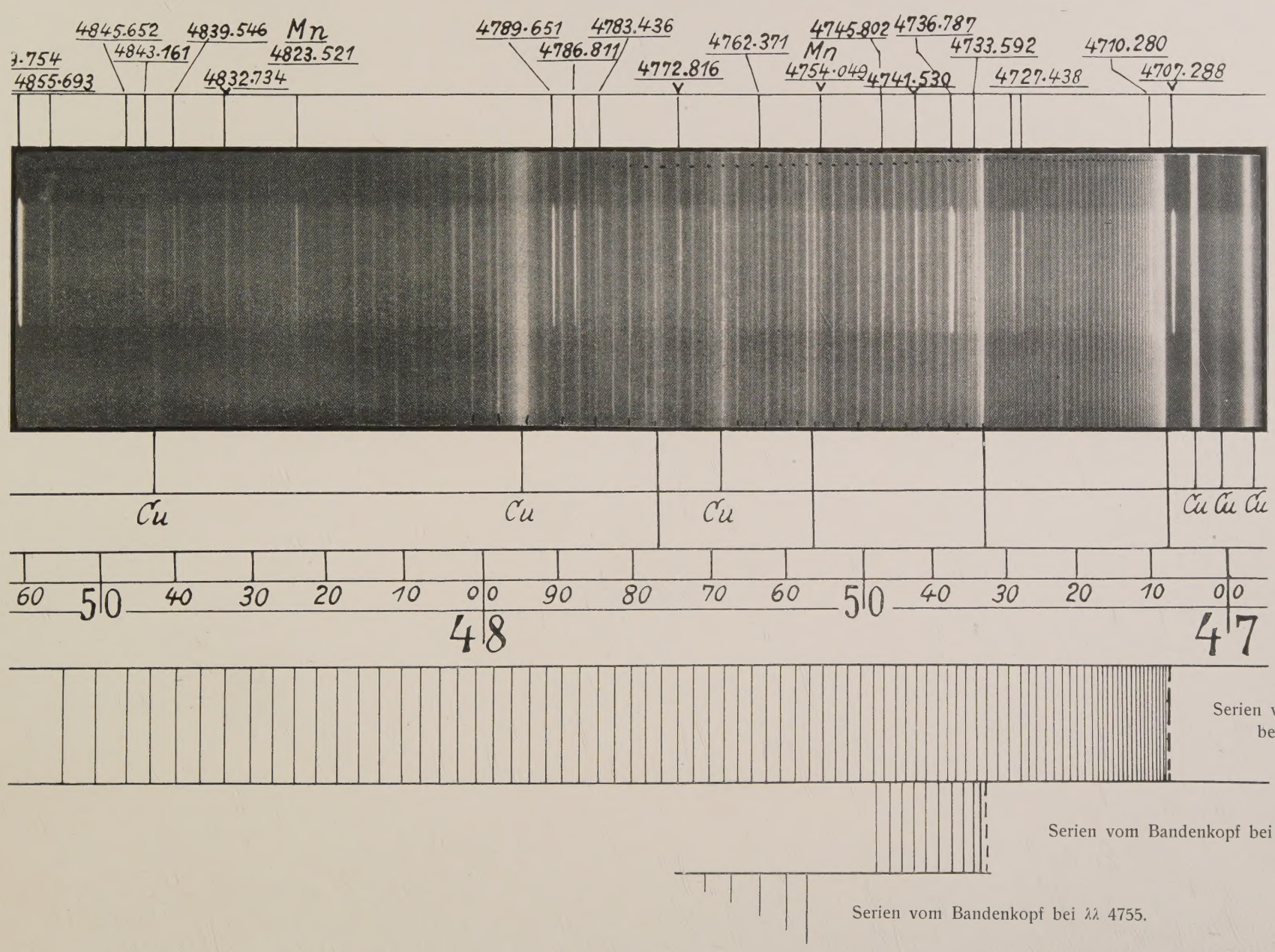
nach Vergrößerungen von Films, aufgenommen mit dem Toepfer'schen Konkavgitterspektrographen des Kaiser Wilhelm-Instituts für phys. Chemie u. Elektrochemie, Dahlem.

Material: Metall auf Siemens-Homogenkohle.



1. Bandengruppe C in zweiter Ordnung.
2. u. 3. Bandengruppe B, C und D in erster Ordnung.

Tafel 6.

Struktur der blauen Berylliumbande C bei λλ 4708.

Vergrößerung nach Aufnahme mit großem Konkavgitter, London, in zweiter Ordnung.
1 mm der unvergrößerten Platte entspricht etwa 2.56 Å.-E.